



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA

Yulissa Iveth Andrea Cordova Ramírez

Asesorado por la Inga. Rosa Amarilis Dubón Mazariegos

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

YULISSA IVETH ANDREA CORDOVA RAMÍREZ

ASESORADO POR LA INGA. ROSA AMARILIS DUBÓN MAZARIEGOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 12 de febrero de 2015.



Yulissa Iveth Andrea Cordova Ramírez

Ciudad de Guatemala, enero 2016

Ingeniero
Juan José Peralta Dardón
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Señor Director:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que, como Asesora del Trabajo de Graduación de la estudiante Yulissa Iveth Andrea Cordova Ramírez, quien se identifica con número de carné 200915322, de la carrera de Ingeniería Industrial de ésta casa de estudios, he procedido a efectuar la revisión correspondiente de dicho trabajo, realizado sobre el tema de suma importancia para la escuela: **"USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA"**; haciendo constar que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería para continuar con los trámites correspondientes.

Agradeciendo de antemano se le dé el seguimiento respectivo al presente documento me suscribo a usted.

Atentamente



Rosa Amarilis Dubón Mazariegos
Ingeniera Industrial
Colegiada No. 8396
ASESOR



REF.REV.EMI.043.016

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Yulissa Iveth Andrea Cordova Ramírez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Yocasta Ivanobra Ortiz del Cid
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, abril de 2016.


/mgp



REF.DIR.EMI.068.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Yulissa Iveth Andrea Cordova Ramírez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, abril de 2016.



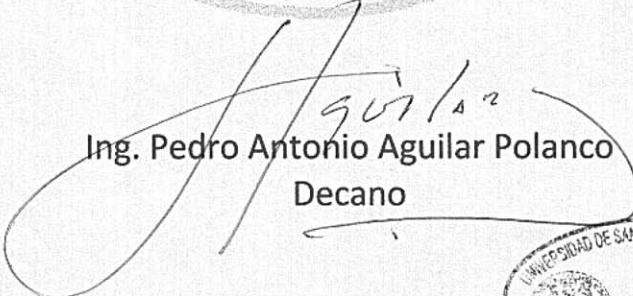
/mgp



DTG. 212.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Yulissa Iveth Andrea Cordova Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2016



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el centro de mi vida, a quien le debo todas las bendiciones, la fortaleza, inteligencia, humildad y sabiduría que me han permitido lograr esta meta. La honra y la gloria siempre sean para Él.

Virgen María

Mi madre querida, por ser mi intercesora, mi sostén y refugio, mi gran ejemplo de mujer.

Mi madre

Gladys de Cordova, por ser mi guía, mi gran maestra. Por su esfuerzo, sus desvelos, su lucha por mí, por impulsarme y apoyarme, pero sobre todo por su gran amor.

Mi padre

Luis Cordova, por aceptarme en su vida y enseñarme el significado del verdadero amor. Por apoyarme, impulsarme, creer siempre en mí y por ser mi ejemplo de fortaleza, valentía, lucha y carácter frente a los obstáculos.

Madre

Samara de Garci-Aguirre, por ser la persona que me dio la vida, por su amor y por demostrarme que se puede salir adelante frente a los problemas.

Mi tía

Claudia Cordova, por su amor tan especial, su capacidad de generosidad, palabras de aliento, cuidados y por encontrar en ella un apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

Mi tía

Lourdes Cordova, por estar de manera incondicional brindándome su cariño, apoyo, comprensión y ejemplo de ser humano y de profesional.

Mi hermana

Ana Lucía Garci-Aguirre, por su amor y por quien espero ser un ejemplo de mujer y profesional.

Mis primos

Diego Javier y María Fernanda Castillo, por su amor, por ser la razón de tantas alegrías y por quienes deseo ser un ejemplo de profesional y ser humano.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de Guatemala**

Mi alma mater, mi segunda casa, por haberme brindado los conocimientos a lo largo de estos años, y que hoy con honor he de representar en mi vida profesional.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos técnicos, científicos y tecnológicos y haberme permitido conocer a grandes seres humanos.

Rony Castillo

Por su apoyo brindado y ser un ejemplo de un profesional con ética y valores.

Inga. Rosa Dubón

Por su amistad y asesoría en mi trabajo de graduación, sus consejos y recomendaciones que han sido de valiosa ayuda para la culminación del mismo.

Compañeros

Por compartir momentos de alegrías, esfuerzos y desvelos pero sobre todo por su amistad durante mi formación académica.

Usted

Apreciable lector, por tomarse el tiempo de leer estas páginas, de una investigación realizada con el fin de aportar conocimiento y apoyo en temas relacionados.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Corredor Seco	1
1.1.1. Ubicación	2
1.1.2. Mapas	6
1.1.3. Descripciones	8
1.1.3.1. Demografía	8
1.1.3.2. Extensión territorial	13
1.1.3.3. Sociales	14
1.1.3.4. Sistema económico social	20
1.1.3.5. Ganadería y avicultura	22
1.1.3.6. Agricultura	24
1.1.3.7. Industrias	26
1.1.3.8. Orografía	29
1.1.3.9. Hidrografía	38
1.2. Cambio climático	52
1.3. Radiación solar	53
1.3.1. Procesamiento y conversión de la radiación solar en energía	56

1.4.	Historia de la energía solar	57
1.5.	Teoría de la energía solar	58
1.6.	Energía solar en Guatemala	64
1.6.1.	Aplicación de la energía solar en Guatemala	64
1.7.	Políticas públicas de energía solar en Guatemala	65
1.7.1.	Marco institucional.....	67
1.7.2.	Generación de energía solar	68
1.7.3.	Distribución de la energía solar	72
2.	DESARROLLO DEL SECTOR CIENTÍFICO TECNOLÓGICO	77
2.1.	Potencial de energía solar.....	77
2.1.1.	Disponibilidad del recurso natural	78
2.1.2.	Cálculo de potencial	79
2.2.	Capacidades	79
2.2.1.	Científicas.....	80
2.2.2.	Tecnológicas	81
2.3.	Comunicación y colaboración	82
2.3.1.	A nivel nacional	82
2.3.2.	A nivel internacional	82
2.4.	Interacción de sectores	83
2.4.1.	Productivo	84
2.4.2.	Universidades.....	85
2.4.3.	Escuelas y colegios	85
2.5.	Impacto en la matriz energética	86
2.6.	Educación y percepción pública	90
3.	DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO DE ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO.....	91
3.1.	Perspectiva del crecimiento de energía solar.....	91

3.1.1.	Proyectos realizados	92
3.1.1.1.	Gobierno	92
3.1.1.2.	Sector privado.....	92
3.1.2.	Proyectos en desarrollo	95
3.1.2.1.	Gobierno	95
3.1.2.2.	Sector privado.....	95
3.1.3.	Proyectos en gestión	96
3.1.3.1.	Gobierno	97
3.1.3.2.	Sector privado.....	97
4.	ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA.....	99
4.1.	Radiación solar en el Corredor Seco	99
4.1.1.	Descripción general	117
4.1.2.	Mapas	119
4.1.2.1.	Departamentos	119
4.1.2.2.	Municipios.....	120
4.1.3.	Consecuencias	124
4.2.	Generación de energía solar en el Corredor Seco	127
4.2.1.	Utilización	128
4.3.	Tecnologías para la aplicación de energía solar en el Corredor Seco	130
4.3.1.	Sistema fotovoltaico de bombeo de agua	130
4.3.2.	Cultivo protegido.....	137
4.4.	Impacto en la población.....	147
4.5.	Ahorro energético	148
5.	ANÁLISIS AMBIENTAL Y USO DE ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO	155
5.1.	Teoría y conceptos generales	155

5.2.	Impacto potencial	155
5.2.1.	Medio físico	155
5.2.2.	Medio biótico	157
5.2.3.	Medio socioeconómico	159
CONCLUSIONES.....		163
RECOMENDACIONES		165
BIBLIOGRAFÍA.....		167
APÉNDICES.....		171
ANEXOS.....		173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de la desertificación en Guatemala	6
2.	Amenaza de sequía	7
3.	Cuencas hidrográficas de la República de Guatemala	51
4.	Proceso de la radiación solar	56
5.	Energía solar térmica	61
6.	Curva I-V y P-V de un módulo fotovoltaico.....	63
7.	Energía solar fotovoltaica	63
8.	Sistema fotovoltaico aislado	74
9.	Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	75
10.	Radiación solar directa anual en kilovatios hora por metro cuadrado por día (kWh/m ² /día)	78
11.	Consumo energético nacional.....	87
12.	Matriz energética 2015 de Guatemala	88
13.	Matriz energética 2030.....	89
14.	Mapa de centrales generadoras solares	91
15.	Promedio de radiación municipal en Quiché	109
16.	Promedio de radiación municipal en Baja Verapaz.....	110
17.	Promedio de radiación municipal en El Progreso.....	111
18.	Promedio de radiación municipal en Zacapa	112
19.	Promedio de radiación municipal en Jalapa.....	113
20.	Promedio de radiación municipal en Jutiapa.....	114
21.	Promedio de radiación municipal en Chiquimula	115
22.	Radiación solar departamental.....	116

23.	Radiación solar departamental por municipio	117
24.	Radiación solar de los departamentos del Corredor Seco	120
25.	Radiación solar del departamento de Quiché	121
26.	Radiación solar del departamento de Baja Verapaz	121
27.	Radiación solar del departamento de El Progreso	122
28.	Radiación solar del departamento de Zacapa	122
29.	Radiación solar del departamento de Jalapa	123
30.	Radiación solar del departamento de Jutiapa	123
31.	Radiación solar del departamento de Chiquimula	124
32.	Días sin lluvia durante junio y julio de 2014	126
33.	Sistema de bombeo fotovoltaico	133
34.	Invernadero tipo parral	140
35.	Diente de sierra (Israel)	142
36.	Sistema de fijación con tubos de acero cruzados	143
37.	Costo por ciclo según estructura de agricultura protegida	146
38.	Ingresos de los distintos modelos de cultivo protegido	147
39.	Captura condiciones de sistema de bombeo	151
40.	Costo de inversión solar vs. diésel	151
41.	Proyección de costos en 20 años	152
42.	Principales causas de mortalidad en el Corredor Seco	158

TABLAS

I.	Departamentos y municipios con sequía severa	3
II.	Departamentos y municipios imperceptibles a la sequía	4
III.	Distancia de la cabecera de municipios con sequia severa	5
IV.	Población de los municipios semiáridos de Quiché	8
V.	Población de los municipios semiáridos de Baja Verapaz	9
VI.	Población de los municipios semiáridos de El Progreso	10

VII.	Población de los municipios semiáridos de Zacapa	11
VIII.	Población de los municipios semiáridos de Jalapa	11
IX.	Población de los municipios semiáridos de Jutiapa	12
X.	Población de los municipios semiáridos de Chiquimula	13
XI.	Extensión territorial de los municipios del Corredor Seco	13
XII.	Utilización y obtención del agua	50
XIII.	Proyectos en gestión en el Corredor Seco utilizando energías renovables.....	97
XIV.	Potencia anual promedio en los municipios de Quiché	101
XV.	Radiación anual promedio en los municipios de Baja Verapaz.....	102
XVI.	Radiación anual promedio en los municipios de El Progreso.....	103
XVII.	Radiación anual promedio en los municipios de Zacapa	104
XVIII.	Radiación anual promedio en los municipios de Jalapa.....	105
XIX.	Radiación anual promedio en los municipios de Jutiapa.....	106
XX.	Radiación anual promedio en los municipios de Chiquimula	107
XXI.	Radiación municipal de Quiché	108
XXII.	Radiación municipal de Baja Verapaz.....	109
XXIII.	Radiación municipal de El Progreso.....	110
XXIV.	Radiación municipal de Zacapa	111
XXV.	Radiación municipal de Jalapa.....	112
XXVI.	Radiación municipal de Jutiapa.....	113
XXVII.	Radiación municipal de Chiquimula	114
XXVIII.	Radiación solar departamental.....	116
XXIX.	Radiación solar departamental por municipio	117
XXX.	Características de las bombas fotovoltaicas	135
XXXI.	Repercusión de los sistemas FV en diversos sectores rurales de América Latina y Asia.....	136
XXXII.	Repercusión de los sistemas FV en sectores rurales de América Latina y Asia.....	137

XXXIII.	Rentabilidad de distintos modelos de cultivo protegido	146
XXXIV.	Costo sistema de bombeo	149
XXXV.	Precio de la energía eléctrica en kilovatios por hora.....	150
XXXVI.	Consumo de leña en metros cúbicos/persona/año	153
XXXVII.	Consumo y costo anual de leña por familia por metro cúbico.....	154
XXXVIII.	Impacto ambiental de energía fotovoltaica	156
XXXIX.	Principales causas de morbilidad en el Corredor Seco.....	158
XL.	Producción agrícola en el departamento de Jutiapa en quintales sin uso de energía solar en 2014.....	160
XLI.	Proyección de producción agrícola en Jutiapa con uso de energía solar para 2015-2016.....	161

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
°C	Grados centígrados
Hrs	Hora
J	Joules
Km	Kilómetro
Km ²	Kilómetro cuadrado
Kv	Kilovoltios
KWh/m ²	Kilowatts hora por metro cuadrado
KWh/m ² /día	Kilowatts hora por metro cuadrado por día
Kw/h	Kilowatts por hora
L/día/persona	Litro por día por persona
MW	Megawatts
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³ /día/hectárea	Metro cúbico por día por hectárea
m ³ /s	Metros cúbicos sobre segundo
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
mm/año	Milímetros al año
W/m ²	Watts sobre metro cuadrado
Wp	Watts pico

GLOSARIO

Actinógrafo	Instrumento para registrar las variaciones de los efectos actínicos de los rayos solares.
Acumulador	Aparato que almacena energía eléctrica para restituirla en el momento deseado.
Albedo	Porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.
Avicultura	Arte de criar las aves.
Baldosa	Ladrillo de enlosar.
Bioclimatismo	Principio de concepción de la arquitectura que apunta a utilizar por medio de la arquitectura misma los elementos favorables del clima con el objetivo de satisfacer las exigencias del confort térmico.
Biomasa	Masa total de los seres vivos, animales y vegetales, de un biotopo.
Bombas centrífugas	Tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

Bombas volumétricas	Accionadas por motores eléctricos de giro constante. Se utilizan cuando se precisa una velocidad de descarga de líquido exactamente controlada.
Bunker	Combustible residual que se obtiene de la destilación y refinación de los hidrocarburos, generalmente tiene un precio bajo por esa condición (residuo) y es por esto que se prioriza su uso en aplicaciones donde el consumo de energía es importante.
Canícula	Temporada del año en la cual el calor es más fuerte, tanto en el hemisferio sur como en el norte (desfasados seis meses entre sí). La duración oscila entre cuatro y siete semanas, dependiendo del lugar.
Colectores térmicos	Tecnología más simple que existe para captar energía, los colectores térmicos producen agua caliente a diversas temperaturas para uso de viviendas o edificios públicos.
Demografía	Estudio estadístico de la población.
Desertificación	Proceso de degradación ecológica en el que el suelo fértil y productivo pierde total o parcialmente el potencial de producción.
Diafragma	Disco para limitar la entrada de la luz.

Diagrama unifilar	Se distingue por el conjunto de conductores de un circuito que se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de dichos conductores. Típicamente tiene una estructura de árbol.
Esporádicas	Aislado.
Fotovoltaico	Sustancia o cuerpo que genera una fuerza electromotriz cuando se encuentra bajo la acción de una radiación luminosa o análoga.
Fusión	Unión de varios núcleos de átomos ligeros a elevada temperatura en un solo núcleo de masa más elevada.
Imperceptibles	No se puede percibir.
Insolación	Enfermedad causada por la exposición excesiva al Sol. En meteorología, tiempo con Sol y sin nubes.
Mantos freáticos	Cuerpo de agua de infiltración en el subsuelo que se encuentra ubicado a poca profundidad, generalmente a unos pocos metros de la superficie.
Matriz energética	Representación cuantitativa de toda la energía disponible, en un determinado territorio, región, país, o continente para ser utilizada en los diversos procesos productivos.

Mitigación	Disminuir.
Morbilidad	Cantidad de personas que enferman en un lugar y un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.
Ondas electromagnéticas	Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía, se propagan mediante una oscilación de campos eléctricos y magnéticos.
Orografía	Estudio de las montañas. Conjunto de los montes de un país, región, entre otros.
Plasticultura	Área de la agricultura que involucra el uso de los plásticos (polímeros) en la producción agrícola a través de técnicas con acolchado de suelos, mallas agrícolas, riego por goteo, entre otros, con la finalidad de incrementar los rendimientos y calidad de la producción.
Policarbonato	Resina plástica de gran resistencia y dureza mecánica que se emplea principalmente en electrónica y aeronáutica.
Precariedad	Carencia o falta de los medios o recursos necesarios para algo.

Quebradas	Paso estrecho entre montañas. Arroyo o riachuelo.
Riachuelo	Río pequeño.
Tasa	Índice.
Termosolar	Es aquella que aprovecha la energía de los rayos del Sol para generar calor de forma limpia y respetuosa con el medio ambiente.
Vertiente	Cada una de las pendientes de una montaña o un tejado.
Zanjones	Cauce profundo por donde corre el agua.

RESUMEN

Recurrir al uso de energías renovables para aliviar algunas limitaciones del Corredor Seco parece ser una buena alternativa hoy en día, puesto que no causa daños como la energía generada a base de combustibles fósiles, la cual predomina hoy en día. La idea anterior surge ante el cambio climático y sus consecuencias debido a la necesidad de un modo de vida digno de la población.

Por sus características geográficas, el Corredor Seco presenta una alta viabilidad para la instalación de proyectos de energía limpia favoreciendo el desarrollo social, económico, acceso a electricidad y reducción de efectos negativos en el ambiente y la salud. Cabe señalar que por su radiación solar constante derivada de la posición geográfica de Guatemala, la energía solar es una de las más aptas para aplicar en la zona semiárida del país.

Debido a lo factible del uso del sol como generador de electricidad en las zonas con riesgo de sequía, este trabajo de graduación presenta una recopilación de información del Corredor Seco con sus principales problemáticas, con énfasis en el uso de energía solar como una alternativa para mitigar el impacto que el cambio climático ha ocasionado en los departamentos de esa región.

Esta investigación consta de cinco capítulos, presentándose en el primero los antecedentes generales que sirven de base para la realización del trabajo, el segundo capítulo muestra el desarrollo del sector científico tecnológico, las capacidades e interacciones del mismo.

En el tercer capítulo se hace un análisis del sector productivo, con el fin de conocer los proyectos de energía solar realizados, los que se encuentran en aplicación y los que están en gestión en dicha región semiárida.

El cuarto y quinto capítulo presentan de manera más detallada el uso de la energía solar en el Corredor Seco, analizando los lugares aptos para aplicar la tecnología, los beneficios y un análisis ambiental derivado de su utilización en la región, todo ello bajo los aspectos legales requeridos en la investigación.

OBJETIVOS

General

Recopilar información sobre el uso de la energía solar como alternativa de solución ante las problemáticas en el Corredor Seco de Guatemala.

Específicos

1. Definir las principales características que posee el Corredor Seco, tanto sus limitantes como potencialidades.
2. Definir los problemas principales que genera el cambio climático y que impiden el desarrollo de la población.
3. Realizar un análisis de las energías utilizadas en la actualidad y su impacto en la matriz energética.
4. Determinar los proyectos realizados en desarrollo y en gestión de energía solar dentro de la zona semiárida del país, con el fin de establecer el porcentaje de presencia de energía renovable.
5. Definir el área más factible y viable para el uso de energía solar, según su radiación, población, extensión territorial, capacidad hídrica, orográfica, ganadera y socioeconómica.

6. Proponer un sistema tecnológico basado en energía solar que contribuya al desarrollo del sector agrícola del Corredor Seco.
7. Realizar un análisis ambiental por el uso de energía solar en el Corredor Seco de Guatemala y verificar el impacto en la población.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país vulnerable a los cambios climáticos, consecuencia de ello son las épocas variables de invierno o verano, en especial por fenómenos meteorológicos como, “El Niño”, trayendo como consecuencia lluvias intensas, ocasionando inundaciones y largos períodos de sequía, que han llevado a regiones a perder cultivos, y ser conocidas por sus características de suelos semiáridos. Tal es el caso del Corredor Seco, conocido por su alto grado de sequía, especialmente en los departamentos de Quiché, Baja Verapaz, Chiquimula, El Progreso, Zacapa, Jutiapa y Jalapa, los cuales se ven afectados directamente en la agricultura, derivado de los problemas ambientales, ocasionando pérdidas económicas, enfermedades, desnutrición, pobreza extrema, falta de educación, y en su totalidad graves consecuencias que imposibilitan un nivel de vida digno de la población.

La energía solar nace como una alternativa de solución ante los continuos sucesos que afectan a la región, debido al gran potencial de radiación solar con que cuenta el país, especialmente en el departamento de Jutiapa, y en sus municipios de Agua Blanca y Asunción Mita. Por las características del Corredor Seco, se espera que mediante proyectos de carácter fotovoltaico se generen mayores soluciones que impacten directamente en la agricultura y por ende en el desarrollo humano. Esto a través del uso de sistemas de bombeo fotovoltaico en los cuales se utiliza el agua subterránea para el riego de productos agrícolas a través de motores que funcionan por medio de energía solar. Asimismo, proyectos como invernaderos también conocidos como cultivos protegidos que tienen como finalidad proteger las hortalizas de los sembradores.

1. ANTECEDENTES GENERALES

A continuación se presenta la descripción general del Corredor Seco de Guatemala, su ubicación y principales características, así como historia, teoría, generación y uso de energía solar.

1.1. Corredor Seco

En el estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano, llevado a cabo por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Corredor Seco de Guatemala es denominado como la zona semiárida del país con una alta susceptibilidad a sequías, misma que avanza como consecuencia de características naturales y meteorológicas propias de la región y por efectos climáticos como el de El Niño, caracterizado por temperaturas anormalmente cálidas. En esta zona la precipitación promedio anual oscila entre los 400 y 800 milímetros.

Según José Miguel Leiva, exdirector de Mecanismo Global contra la Desertificación de la Organización de Naciones Unidas, el Corredor Seco cuenta con una extensión de 10 200 kilómetros cuadrados y se prevé que en 10 años llegue a ser perceptible en 20 municipios de occidente y pueda extenderse para el 2050 a Petén, uno de los departamentos conocidos como un pulmón del mundo.

Lo anterior recae directamente en la calidad de vida de la población, provocando problemas como inseguridad alimentaria, pobreza, educación, desempleo y enfermedades. El Corredor Seco no existe únicamente en

Guatemala sino también en Honduras y Nicaragua conocido entonces como Corredor Seco Centroamericano, en el cual la sequía ha producido pérdidas en los cultivos de maíz, frijol y sorgo, lo que compromete la situación nutricional de las familias. En Guatemala las pérdidas oscilan entre el 55 y 100 % de maíz y frijol. Las pérdidas afectan especialmente a los pequeños productores de granos básicos, según los datos del estudio de *Situación alimentaria y nutricional en el Corredor Seco de Centroamérica*.

1.1.1. Ubicación

Con base en los datos proporcionados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Corredor Seco está conformado por 7 departamentos, caracterizados por el alto grado de sequía, los cuales son: Jutiapa, Jalapa, El Progreso, Zacapa y Chiquimula pertenecientes al corredor seco oriental y Baja Verapaz y Quiché dentro del corredor seco occidental. Asimismo, es integrado por 52 municipios que equivalen al 13 % del territorio nacional. No obstante la región semiárida se ha extendido a los departamentos de: Huehuetenango, Santa Rosa, Totonicapán, San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla, causando gran preocupación y necesidad de enfrentar los efectos de la sequía.

A continuación se presenta el desglose de los departamentos y municipios con sequía severa, mismos, que se identifican con un código numérico que el MARN les otorga, según el área al que pertenezcan.

Tabla I. **Departamentos y municipios con sequía severa**

DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS CON SEQUÍA SEVERA			
CORREDOR SECO OCCIDENTAL			
Código	QUICHÉ	Código	BAJA VERAPAZ
1404	Zacualpa	1501	Salamá
1408	San Antonio Iltotenango	1502	San Miguel Chicaj
1409	San Pedro Jocopilas	1503	Rabinal
1412	Joyabaj	1504	Cubulco
1414	San Andrés Sajcabajá	1505	Granados
1415	Uspantán	1506	El Chol
1416	Sacapulas	1507	San Jerónimo
1417	San Bartolomé Jocotenango		
1418	Canillá		
1419	Chicamán		
CORREDOR SECO ORIENTAL			
Código	EL PROGRESO	Código	CHIQUEMULA
201	Guastatoya	2001	Chiquimula
202	Morazán	2002	San José La Arada
203	San Agustín Acasguastlán	2003	San Juan La Ermita
204	San Cristóbal Acasguastlán	2004	Jocotán
205	El Júcaro	2009	Quetzaltepeque
206	Sanarate	2010	San Jacinto
207	Sansare	2011	Ipala
208	San Antonio La Paz	Código	JALAPA
Código	ZACAPA	2101	Jalapa
1901	Zacapa	2102	San Pedro Pinula
1902	Estanzuela	2103	San Luis Jilotepeque
1903	Río Hondo	2104	San Manuel Chaparrón
1904	Gualán	2106	Monjas
1905	Teculután	2107	Mataquescuintla
1906	Usumatlán	Código	JUTIAPA
1907	Cabañas	2203	Santa Catarina Mita
1908	San Diego	2204	Agua Blanca
1910	Huité	2205	Asunción Mita
		2214	Moyuta
		2215	Pasaco

Fuente: elaboración propia, con base en datos del MARN, 2015.

Tabla II. **Departamentos y municipios imperceptibles a la sequía**

DEPARTAMENTOS Y MUNICIPIOS IMPERCEPTIBLES A LA SEQUÍA			
Código	ESCUINTLA	Código	SANTA ROSA
506	Tiquisate	608	Chiquimulilla
507	La Gomera	609	Taxisco
509	San José	611	Guazacapán
510	Iztapa	Código	SUCHITEPÉQUEZ
513	Nueva Concepción	1002	Cuyotenango
Código	TOTONICAPÁN	1006	Santo Domingo Suchitepéquez
805	Momostenango	1007	San Lorenzo
806	Santa María Chiquimula	Código	RETALHULEU
807	Santa Lucía La Reforma	1101	Retalhuleu
808	San Bartolo Aguas Calientes	1107	Champerico
Código	SAN MARCOS	Código	HUEHUETENANGO
1217	Ayutla	1301	Huehuetenango
1218	Ocós	1303	Malacatancito
		1304	Cuilco
		1321	Tectitán
		1327	Aguacatán

Fuente: elaboración propia, con base en datos del MARN, 2015.

Tabla III. **Distancia de la cabecera de municipios con sequia severa**

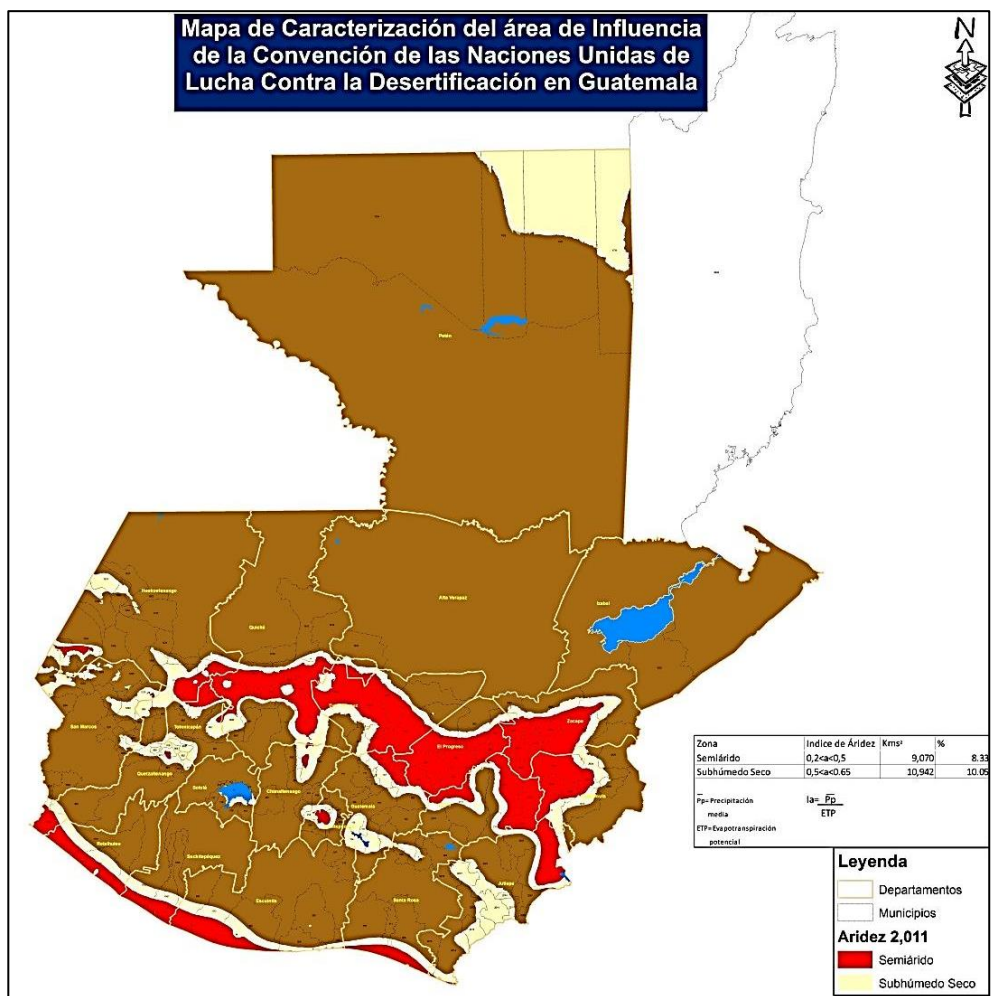
Códigos	Municipios	Distancias de la cabecera	Códigos	Municipios	Distancias de la cabecera
QUICHÉ (Santa Cruz del Quiché)			BAJA VERAPAZ (Salamá)		
1404	Zacualpa	43 km	1501	Salamá	-
1408	San Antonio Iltotenango	20 km	1502	San Miguel Chicaj	9 km
1409	San Pedro Jocopilas	8 km	1503	Rabinal	27 km
1412	Joyabaj	41 km	1504	Cubulco	51 km
1414	San Andrés Sajcabajá	24 km	1505	Granados	63 km
1415	Uspantán	90 km	1506	El Chol	52 km
1416	Sacapulas	49 km	1507	San Jerónimo	17 km
1417	San Bartolomé Jocotenango	57 km	ZACAPA (Zacapa)		
1418	Canillá	38 km	1901	Zacapa	-
1419	Chicamán	102 km	1902	Estanzuela	9 km
EL PROGRESO (Guastatoya)			1903	Río Hondo	19 km
201	Guastatoya	-	1904	Gualán	35 km
202	Morazán	31 km	1905	Teculután	28 km
203	San Agustín Acasguastlán	19 km	1906	Usumatlán	37 km
204	San Cristóbal Acasguastlán	29 km	1907	Cabañas	35 km
205	El Jícaro	28 km	1908	San Diego	77 km
206	Sanarate	19 km	1910	Huité	32 km
207	Sansare	33 km	CHIQUMULA (Chiquimula)		
208	San Antonio La Paz	39 km	2001	Chiquimula	-
JALAPA (Jalapa)			2002	San José La Arada	11 km
2101	Jalapa	-	2003	San Juan La Ermita	22 km
2102	San Pedro Pinula	20 km	2004	Jocotán	31 km
2103	San Luis Jilotepeque	41 km	2009	Quetzaltepeque	25 km
2104	San Manuel Chaparrón	51 km	2010	San Jacinto	17 km
2106	Monjas	23 km	2011	Ipala	28 km
2107	Mataquescuintla	41 km			
JUTIAPA (Jutiapa)					
2203	Santa Catarina Mita	29 km			
2204	Agua Blanca	47 km			
2205	Asunción Mita	29 km			
2214	Moyuta	56 km			
2215	Pasaco	70 km			

Fuente: elaboración propia, con base en datos del MARN, 2015.

1.1.2. Mapas

A continuación se presenta el mapa de la desertificación del país, entendiéndose por desertificación la degradación de tierras de zonas áridas, subhúmedas y semiáridas. El Corredor Seco es el área abarcada desde Chiquimula hasta Jutiapa, ubicándose en la parte media del mapa.

Figura 1. Mapa de la desertificación en Guatemala

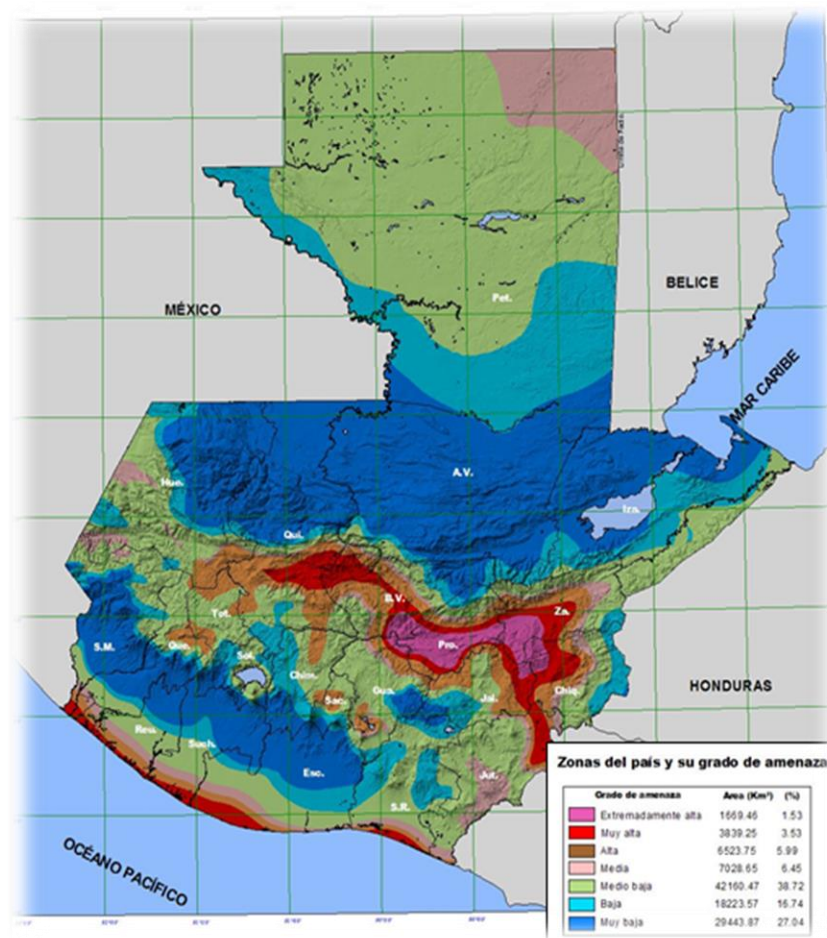


Fuente: MARN, 2015.

En el mapa anterior (figura 1) se observa una franja que contempla los departamentos de Quiché, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa, Jalapa, Chiquimula y Jutiapa, siendo esta área el Corredor Seco, objeto de estudio de esta investigación.

Los departamentos según el grado de sequía se presentan en el siguiente mapa.

Figura 2. Amenaza de sequía



Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA), 2015.

1.1.3. Descripciones

Para un análisis detallado del Corredor Seco a fin de saber sus limitaciones y potencialidades se es necesario conocer los aspectos geográficos, demográficos, productivos y ganaderos, los cuales se desglosan a continuación.

1.1.3.1. Demografía

- Quiché

Según el censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística (INE) de 2002 estima que para el 2015, Quiché tendrá una población cercana a los 1 088 942 habitantes, de acuerdo a una tasa de crecimiento poblacional de 3,4 %, siendo un 48,4 % hombres y el 51,6 % mujeres, de los cuales más del 25 % está en pobreza extrema.

Tabla IV. **Población de los municipios semiáridos de Quiché**

Quiché	
Municipio	Población
Zacualpa	43 964
San Antonio Ilotenango	20 719
San Pedro Jocopilas	28 449
Joyabaj	76 928
San Andrés Sajcabajá	25 121
Uspantán	64 534
Sacapulas	46 405
San Bartolomé Jocotenango	14 722
Canillá	12 169
Chicamán	35 245

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

- **Baja Verapaz**

Con base en el censo poblacional del INE, 2002 se estima que para el 2015 la población es de 299 432 de acuerdo a una tasa de crecimiento poblacional del 2,5 % y de los cuales el 49,4 % son hombres y 50,6 % son mujeres. La población indígena es el 58,24 % del total, y la población ladina es 41,52 %, identificándose un 0,24 % como de otros grupos étnicos. El porcentaje de población menor de 15 años es de 45,59 %, la población con edad mayor de 59 años es de 6,28 %.

Tabla V. **Población de los municipios semiáridos de Baja Verapaz**

Baja Verapaz	
Municipio	Población
San Miguel Chicaj	27 446
Rabinal	35 397
Cubulco	59 718
Granados	11 211
El Chol	9 026
San Jerónimo	22 048

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

- **El Progreso**

Según proyecciones de 2002, del INE, se estima que para el 2015, la población sea de 169 290 habitantes de los cuales el 48,7 % son hombres y el 51,3 % son mujeres, según la tasa promedio de crecimiento poblacional de 1,7 %.

Tabla VI. **Población de los municipios semiáridos de El Progreso**

El Progreso	
Municipio	Población
Guastatoya	22 092
Morazán	11 853
San Agustín Acasguastlán	39 271
San Cristóbal Acasguastlán	6 887
El Jícaro	10 842
Sanarate	37 585
Sansare	11 577
San Antonio La Paz	17 382

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

- **Zacapa**

Según datos del XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación, realizado por INE en el 2002, el departamento de Zacapa cuenta con una población total de 236 593 habitantes para el 2015, basados en una tasa de crecimiento poblacional de 1,5 % correspondiente al departamento de Zacapa del cual casi el 61 % se ubica en el área rural, un 48,6 % es de sexo masculino y 51,4 % de sexo femenino.

La población indígena representa el 0,74 % de los habitantes totales, pertenecientes a los pueblos garífuna y xinca.

Tabla VII. **Población de los municipios semiáridos de Zacapa**

Zacapa	
Municipio	Población
Zacapa	68 223
Estanzuela	11 288
Río Hondo	17 856
Gualán	40 174
Teculután	16 970
Usumatlán	10 816
Cabañas	11 163
San Diego	5 885
Huité	9 700

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

- **Jalapa**

Según los informes del último censo realizado en el país, el departamento de Jalapa para el 2015, tendría una población de 355 566 habitantes, con un crecimiento de población anual de 2,8 %, del cual 48,4 % son hombres y 51,6 % mujeres.

Tabla VIII. **Población de los municipios semiáridos de Jalapa**

Jalapa	
Municipio	Población
Jalapa	140 973
San Pedro Pinula	57 555
San Luis Jilotepeque	24 504
San Manuel Chaparrón	8 430
Monjas	24 009
Mataquescuintla	41 473

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

- Jutiapa

De acuerdo al censo elaborado por el INE en 2002, para el 2015, se estima una población de 472 304 habitantes, del cual el 49,5 % son hombres y el 50,5 % son mujeres, según la tasa promedio de crecimiento poblacional de 1,9 %.

Tabla IX. **Población de los municipios semiáridos de Jutiapa**

Jutiapa	
Municipio	Población
Santa Catarina Mita	23 887
Agua Blanca	14 479
Asunción Mita	40 811
Moyuta	38 199
Pasaco	9 097

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

- Chiquimula

De acuerdo al INE se proyecta para el 2015, una población de 406 422 habitantes del cual el 49,7 % son hombres y el 50,3 % son mujeres, según la tasa promedio de crecimiento poblacional de 2,3 %.

La etnia maya-chortí ubicada en Jocotán, Camotán, Olopa y San Juan Ermita representa un poco más del 16 % de la población total.

Tabla X. **Población de los municipios semiáridos de Chiquimula**

Chiquimula	
Municipio	Población
Chiquimula	92 818
San José La Arada	8 101
San Juan La Ermita	13 196
Jocotán	55 290
Quetzaltepeque	49 722
San Jacinto	12 112
Ipala	19 760

Fuente: elaboración propia, con base en los censos poblacionales del INE, 2008-2011.

1.1.3.2. Extensión territorial

A continuación se presentan los municipios pertenecientes al Corredor Seco, separados según su departamento. Se encuentra especificada la extensión territorial de cada uno de ellos.

Tabla XI. **Extensión territorial de los municipios del Corredor Seco**

Quiché		Zacapa	
Municipio	Extensión km²	Municipio	Extensión km²
Zacualpa	336	Zacapa	505
San Antonio Ilotenango	139	Estanzuela	92,24
San Pedro Jocopilas	576	Río Hondo	458,09
Joyabaj	304	Gualán	696
San Andrés Sajcabajá	446	Teculután	273
Uspantán	865	Usumatlán	108,37
Sacapulas	294	Cabañas	138,77
San Bartolomé Jocotenango	123	San Diego	103
Canillá	147,49	Huité	89,12
Chicamán	513	Jalapa	
Baja Verapaz		Municipio	Extensión km²
Municipio	Extensión km²	Jalapa	544
San Miguel Chicaj	300	San Pedro Pinula	376
Rabinal	504	San Luis Jilotepeque	296
Cubulco	444	San Manuel Chaparrón	123
Granados	248	Monjas	256
El Chól	140	Mataquescuintla	287
San Jerónimo	464		

Continuación de la tabla XI.

El Progreso		Jutiapa	
Municipio	Extensión km²	Municipio	Extensión km²
Guastatoya	262	Santa Catarina Mita	132
Morazán	329	Agua Blanca	340
San Agustín Acasquastlán	358	Asunción Mita	476
San Cristóbal Acasquastlán	124	Moyuta	380
El Jícaro	249	Pasaco	308
Sanarate	283	Chiquimula	
Sansare	118	Municipio	Extensión km²
San Antonio La Paz	209	Chiquimula	372
		San José La Arada	160
		San Juan La Ermita	90
		Jocotán	247,4
		Quetzaltepeque	236
		San Jacinto	60
		Ipala	228

Fuente: elaboración propia, con base a los planes de desarrollo municipal de la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (Segeplan).

1.1.3.3. Sociales

- Quiché

Es un departamento formado por grupos étnicos y lingüísticos, descendientes de la cultura maya, cuya historia abarca raíces milenarias. Es caracterizado por los cultos religiosos de origen ancestral, sin embargo, no tienen conflicto con otras creencias religiosas como la de la iglesia católica. La danza es una de sus principales tradiciones, siendo la más conocida La Culebra en su centro danzario ubicado en Santa Cruz del Quiché. Los idiomas que se hablan son el español como idioma oficial pero persisten el k'iche' que es el más usado, el sakapulteko, uspanteko y el ixil. Aún tienen poderío las etnias ixil, sakapulteka, mayanse y k'iche', las cuales realizan mitos especiales de la historia prehispánica de Guatemala.

La minería y los proyectos hidroeléctricos generan situaciones conflictivas para su sociedad y no un desarrollo integral, pues la contaminación al medio ambiente y a la población son consecuencias relevantes. Se han presentado denuncias por la manipulación y despojo a los propietarios de sus tierras, así como una persecución en contra de los líderes llegando a consecuencias lamentables.

Asimismo, el departamento presenta problemas de educación pues se reporta un mayor índice de analfabetismo, que se concentra principalmente en la población indígena femenina, indicó Fernando Argueta, del Comité Nacional de Alfabetización (Conalfa).

- Baja Verapaz

Caracterizados por su gran presencia en fiestas patronales y cofradías, con gran número de bailes folclóricos integrados por hombres y mujeres de todas las edades.

Las danzas es uno de aspectos relevantes siendo las más importantes El Venado, El Palo Volador, Moros y Cristianos. La mayor parte de la población profesa la religión católica pero existe gran presencia de creencias mayas y misticismo.

Los idiomas que predominan, son: achí, poqomchi, quekchí y español como idioma oficial.

Baja Verapaz es uno de los departamentos más afectados por el conflicto armado y en donde se concentra mayor pobreza, también se

han reportado aumento en los índices de desnutrición, llegando en algunos casos a presentarse como aguda severa.

Asimismo, las estadísticas revelan altos índices de violencia intrafamiliar, especialmente en los municipios de Rabinal, Cubulco y Salamá, sin embargo, la violencia no solo es hacia las mujeres sino también hacia los hombres, la cual ha acrecentado en los últimos años.

- El Progreso

Conocido por sus ricas tradiciones entre ellas: las leyendas históricas y míticas. Fue uno de los departamentos con gran influencia española en el período de La Conquista, razón por la que predomina el idioma español y las cofradías desaparecieron, por lo que en la actualidad se acostumbra los jaripeos y peleas de gallos.

Pese a sus positivas características el departamento de El Progreso reportó en el 2012, el mayor porcentaje de denuncias por violencia contra la mujer así como un incremento de femicidios y violencia de otros tipos.

Como una forma de ayuda para el desarrollo sostenible del país se da la Iniciativa K'atun: nuestra Guatemala 2032, en la cual el departamento El Progreso se ha visto involucrado.

La anterior iniciativa requiere la participación de la nación, razón por la que en noviembre de 2014, "Segeplán, por medio de las Delegaciones Departamentales de Guatemala y El Progreso, realizó un taller con las Unidades Técnicas Departamentales (UTD) y representantes de sociedad civil organizada de ambos departamentos, con el propósito de

socializar el Plan Nacional de Desarrollo K'atun: nuestra Guatemala 2032.”¹

- Jalapa

Sus pobladores indígenas son maya-poqomanes y xincas. El idioma oficial es español, presentándose en los municipios de San Luis Jilotepeque y San Pedro Pinula, el poqoman aunque cada vez se habla menos por la falta de identidad cultural, provocando esfuerzos por parte de la Escuela de Lenguas Mayas para mantener el idioma materno. Jalapa es conocido por sus hijos ilustres, poetas, músicos y literatos aun cuando el acceso a lugares culturales y recreativos es limitado, un ejemplo de ello es el único museo en el municipio de Jalapa (Museo Histórico Privado).

Las condiciones de vida que presentan se ven reflejadas en los resultados de 2006 obtenidos de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (Encovi), la tasa de pobreza es de 61,24 % y un 22,66 % de pobreza extrema.

En cuanto a la calidad de vida los municipios catalogados con categoría baja son San Luis Jilotepeque y San Carlos Alzatate, derivados de las necesidades básicas insatisfechas como la vivienda, acceso al agua y saneamiento, reflejados en los índices de salud, ingresos y educación que están por debajo de la media nacional.

¹ Secretaría de Planificación y Programación (Segeplan). <http://www.segeplan.gob.gt/>. Consulta: 31 de diciembre de 2014.

Cuentan con acceso a servicios hospitalarios, sin embargo, su infraestructura de la red de servicios de salud es limitada principalmente en las zonas rurales y presentan mayor mortalidad infantil, en comunidades donde las madres carecen de escolaridad y donde se presentan altos índices de desnutrición crónica.

Presentan un bajo nivel de escolaridad y analfabetismo, principalmente en mujeres, aumentando los esfuerzos por reducir la baja afluencia de niños y jóvenes a la escuela y a programas de alfabetismo.

Más del 90 % de la población cuenta con vivienda formal pero de ese porcentaje al menos la mitad posee piso de tierra, lo que deja a la vista la precariedad de los habitantes. Su acceso a los servicios básicos en algunos municipios es limitado y no se aplican medidas sistemáticas como la aplicación de cloro, generando la contaminación del agua, presentando mayor problema el municipio de San José Pinula, convirtiéndose en una de las medidas más urgentes para resolver.

- Jutiapa

Departamento conocido como La Cuna del Sol, sus pobladores nativos son de origen xinca, pupulucas y pipiles y entre sus señoríos se encontraban los mictlán y paxá que más tarde fue llamado Pasaco.

Según el plan de desarrollo departamental 2011-2021, elaborado por Segeplan, Jutiapa es un departamento con una tasa de pobreza departamental elevada y con más del 20 % de la población con pobreza extrema. Por ello su calidad de vida está catalogada como muy baja en los municipios de Conguaco y Comapa por la precariedad en servicios

básicos. Derivado de la inminente pobreza, la mortalidad infantil presenta mayor vulnerabilidad en los municipios de Conguaco, Pasaco y Comapa, especialmente en niños de 1 a 4 años asimismo, la mortalidad materna es un riesgo latente derivado de aspectos socioculturales y falta de acceso a servicios de salud.

La amenaza principal en este departamento es la sequía, lo que impide una cosecha productiva llegando a provocar desnutrición derivada de la dieta inadecuada y acceso a productos básicos por parte de la población. La fatal de desarrollo de la población no solo se ve afectada por la sequía sino por el bajo nivel de escolaridad, presentando numerosas inasistencias a la escuela, principalmente por niños de 1 a 7 años.

En el caso de los sistemas de agua son deficientes puesto que no se aplican medidas como la clorificación. Sin embargo, el departamento de Jutiapa cuenta con altos porcentajes de acceso a fuentes mejoradas de agua potable en comparación con otros departamentos del país.

- Chiquimula

Su población indígena se concentra en los municipios de Jocotán, Camotán, Olopa y San Juan Ermita. Los idiomas utilizados son el español y el ch'orti' aunque este último ya casi ha desaparecido, debido a la marginación y a la poca identificación de las personas con el grupo étnico chorti.

Es conocido por la Basílica de Esquipulas, uno de los lugares de peregrinación más importantes de Mesoamérica, por ello su vida religiosa gira alrededor de la iglesia católica y las cofradías.

Los bailes folclóricos también son característicos del departamento, sobresalen las danzas de Moros y Cristianos que se realizan en fiestas patronales en diferentes municipios.

La pobreza es un problema que se ha agudizado en Chiquimula presentando mayores índices en la región Ch'orti' (Camotán, Olopa y Jocotán), así como problemas de analfabetismo y desnutrición infantil.

Por otra parte, este departamento cuenta con escuelas para la mayor parte del área rural y urbana, prestando servicios educativos no solo a nivel nacional sino internacional, pues países como El Salvador y Honduras vienen a cursar sus estudios por el prestigio académico de centros educativos como Instituto Normal para Varones de Oriente (INVO) y el Instituto Normal para Señoritas de Oriente (INSO).

1.1.3.4. Sistema económico social

- Quiché

Según el censo del INE 2002, aproximadamente el 25 % de la población conforma la población económicamente activa especialmente en Ixcán. Estas cifras no toman en cuenta el trabajo doméstico realizado por las mujeres ni tampoco las actividades agrícolas como trabajo familiar. La participación de hombres en el comercio y administración pública presenta índices más altos que en el caso de la población de género femenino.

- Baja Verapaz

Con base en el censo del INE 2002, la población económicamente activa fue de 23,07 %, correspondiendo el gran porcentaje a la actividad agrícola. La población que trabaja por cuenta propia o en una empresa familiar es en su mayoría representada por los municipios de Salamá y San Jerónimo.

- El Progreso

Según el Informe Nacional de Desarrollo Humano 2007-2008, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), para el 2006, se estimó una Población Económicamente Activa (PEA) de 61 900 habitantes del cual el 68 % son hombres y el resto mujeres. La agricultura es la principal fuente de economía seguida de industrias manufactureras, con un 34,55 y 15,2 % respectivamente.

- Zacapa

Según estadísticas de INE 2010, la población económicamente activa es de 177 438 personas, de las cuales se denota una inequidad pues el 77,9 % son hombres y el 22,1 % son mujeres. La agricultura es la principal fuente de ingresos seguida de la ganadería y minería.

- Jalapa

Según el Censo Nacional de Población elaborado por INE en el 2002, el 39 % de la población es económicamente activa, en su mayoría hombres con un 78 % y mujeres con 12 %. Asimismo, el trabajo infantil ocupa el

15 % de los habitantes. La agricultura al igual que en otros departamentos es la principal fuente de ingresos y con minoría la industria manufacturera. La mayor parte de los trabajadores se contratan sin prestaciones laborales, lo que obliga a las personas a buscar un segundo empleo en su mayoría informal.

- Jutiapa

Según datos del censo de INE 2002 y el Plan de Desarrollo Departamental de Jutiapa 2010, el 34,6 % de la población mayor de 7 años pertenece a la población económicamente activa, ocupando un 81 % los hombres y un 19 % las mujeres, siendo el sector agrícola la primer fuente de empleo y el resto trabaja por cuenta propia en empleos informales o empresas familiares.

- Chiquimula

De acuerdo al Censo Poblacional de INE 2002, se estima que más del 30 % de la población pertenece al grupo de población económicamente activa, especialmente en personas mayores de 15 años y menos de 39.

1.1.3.5. Ganadería y avicultura

- Quiché

Se dedican a la crianza de ganado vacuno, caballar, asnos, ganado lanar y caprino. Las aves principales, son: los gallos, gallinas, pavos, codornices y patos.

- Baja Verapaz

Se dedican a la crianza de cabras, gallinas chompipes, palomas, patos, abejas y al ganado vacuno y caballar.

- El Progreso

La producción avícola se da en poca medida, presentándose mayor producción animal por el ganado vacuno, bobino y porcino. Existe la producción casera de: aves de corral, cerdos, vacas, conejos y abejas, siendo esta última una actividad donde predomina el trabajo femenino.

- Zacapa

Se dedican a la crianza de ganado vacuno y porcino. Inclusive se hace una exposición de ganado en la feria realizada en la cabecera departamental de Zacapa. También disponen de bueyes y equinos como fuerza animal. En el caso de las aves, presentan mayor número de pollos, gallinas y gallos.

- Jalapa

Las producciones avícolas se dan en minoría en comparación con el ganado vacuno, caballar y porcino, presente en gran parte del departamento. En época seca, el ganado se alimenta con el rastrojo del maíz y concentrados y su producción es con doble propósito, leche y carne.

- Jutiapa

El ganado vacuno es la principal producción animal del departamento. Se da en minoría el ganado caballar y porcino.

- Chiquimula

Su producción animal se concentra en el ganado bobino, fuente de ingresos para haciendas y otros habitantes. La leche es su principal producto obtenido del ganado bovino pues se comercializa a gran escala.

1.1.3.6. Agricultura

- Quiché

Sus principales cultivos, son: el maíz amarillo, maíz blanco, frijol negro, arroz, trigo, plátanos, limones, habas y papas. La producción agrícola es la base de la alimentación de sus habitantes quienes también producen, pero en menos cantidad la cebada y arvejas, siendo el maíz blanco el producto de mayor importancia en la agricultura para este departamento.

- Baja Verapaz

El 44 % del departamento se dedica a la producción agrícola debido a que los suelos son forestales. Sus principales cultivos son: el maíz, frijol, trigo, durazno, pera, aguacate, cardamomo, mango, manía, jocote, granadilla, zapote, guayaba, mora y pacaya.

Presentan menor producción agrícola los municipios El Chol, Rabinal, Granados y Purulhá debido a las malas condiciones de los suelos.

- El Progreso

Sus principales cultivo, son: el maíz amarillo, maíz blanco, maicillo, frijol y hortalizas, sin embargo, no generan una gran producción y las personas no cuentan con el conocimiento adecuado para trabajar el suelo. Otro de sus grandes productos son: el tomate, yuca, limón, jocote tronador, melón, sandía y tabaco.

- Zacapa

Por su clima cálido la producción agrícola se ve afectada, no obstante, los habitantes se dedican a la producción de maíz, frijol, pepino, sandía, okra, yuca, café, chile pimiento, uva y principalmente el tabaco, algunos cítricos y frutales como el mango, banano y papaya.

- Jalapa

Se caracteriza por su producción agrícola, más del 70 % se dedica a ella, sin embargo, no existen tierras para producir debido al clima por lo que siembran en terrenos de ladera sin la aplicación de buenas técnicas de cultivo.

“La zona de producción de granos básicos es la más grande del departamento, abarcando municipios de: Jalapa, San Pedro Pinula, San

Luis Jilotepeque, San Manuel Chaparrón y Monjas en las zonas bajas del departamento. Los principales cultivos de esta zona son el maíz y frijol.”²

Otros cultivos a los que se dedica son el arroz, papa, yuca, chile, café, banano, tabaco, jocote de corona y trigo.

- Jutiapa

Según el INE, en 2002, el 62,8 % de la población se dedica a la agricultura, siendo sus principales medios de cultivo el maíz, maicillo, lenteja, ajonjolí, brócoli, tomate, caña de azúcar y tabaco.

- Chiquimula

La mayor parte de sus productos agrícolas se comercializan a El Salvador y Honduras, especialmente el tomate y el chile. Asimismo, se cultiva manía, maíz, arroz, cacao y cebolla.

1.1.3.7. Industrias

- Quiché

El departamento es rico en minerales, funcionando las minas de hierro, plata, mármoles y plomo. Para su economía es de gran importancia la producción de sal gema. También produce artesanías y textiles pero esto se da más en el municipio de Chichicastenango, sobresaliendo la elaboración de telas tradicionales de algodón trabajadas por mujeres en

² Plan de Desarrollo Departamental PDD del Departamento de Jalapa, Guatemala: SEGEPLAN, 2011. p.47.

telar de cintura, y la elaboración de telas de lana trabajada por hombres en telares de pie.

- Baja Verapaz

Existen 149 empresas dedicadas a la producción industrial, caracterizándose por la producción de tejidos típicos, cerámica tradicional, cestería y el reconocimiento de la elaboración de jícaras y guacales de Rabinal.

- El Progreso

Destaca la manufactura y el procesamiento de productos minerales. Se elabora cal y cemento que son los que representan mayores ingresos. De igual manera se explotan minerales como el oro y el cinc. Se espera que para el 2030, aumente el número de empresas industriales.

La deshidratación del limón para convertirlo en té (Morazán y El Jícaro), elaboración de quesadillas y productos de limpieza derivados de la sábila de producida en Sanarate, contribuyen con la productividad industrial.

La elaboración de muebles en Sanare, Morazán y Sansare, la cerámica y cestería y la pirotecnia, son otras de las fuentes que desarrollan el sector industrial.

- Zacapa

“La actividad industrial, está representada por: fabricación de muebles, madera tratada, baldosa y teja de barro, bebidas diversas, papel,

fertilizantes, textiles, entre otros. Entre la microindustria artesanal se puede mencionar: los calados y bordados de Estanzuela, la elaboración de puros en Zacapa, derivados de la leche y productos de barro, palma y paja, estos últimos de subsistencia.”³

Cabe mencionar que también es de suma importancia la fabricación de dulces típicos como el de toronja y mazapán.

- Jalapa

El sector industrial representa el 4 % del departamento. Se dedican a la producción de cerámica vidriada, piedras de moler y palma. Las principales industrias son las empresas dedicadas al comercio de comida u hotelería. También se elaboran los forros de palma para las botellas Ron Zacapa Centenario de la licorera Zacapaneca.

Según información del Plan de Desarrollo Departamental, Segeplan 2011, del departamento de Jalapa, se mencionan agroindustrias como floricultura, que se ubica en la aldea Achiotes Jumay, Esquejes en aldea Llano Grande, entre otras.

- Jutiapa

Existen empresas hoteleras y de servicios alimenticios, sin embargo, la artesanía y la manufactura son sus principales producciones industriales, siendo famoso por la elaboración de calzado y productos de barro. Asimismo, el mineral más importante que produce es la sal, ubicada en las playas de dicho departamento.

³ Segeplan. *Plan de Desarrollo Departamental de Zacapa*. 2011.

- Chiquimula

Se comercializa el café, el cual por su calidad es exportado alrededor del mundo. Se han contabilizado dos aserradores de madera, uno localizado en Camotán y otro en Concepción Las Minas. Asimismo, se producen artículos de cerámica, cuero, palma y plantas ornamentales, estas últimas en el municipio de Quetzaltepeque.

1.1.3.8. Orografía

- Quiché

Su altitud está entre 2 310 y 1 196 metros sobre el nivel del mar, siendo el clima muy variado, pasando por frío, templado y cálido. Las montañas más importantes son: Joyabaj la cual tiene el nombre de su municipio, La Cumbre y Chuxán en San Bartolomé Jocotenango. Entre sus cerros más importantes se encuentran: Poquijil en Chichicastenango, Pocbalám en San Bartolomé Jocotenango, Pachum en Joyabaj y los Achiotes en San Andrés Sajcabajá. La Sierra de Chamá al norte, Los Cuchumatanes al centro y Chuacús al sur son sus tres sistemas orográficos causantes de la variabilidad climática.

- Zacualpa: municipio del Quiché que cuenta con las montañas Sajquim, la Sierra de Chuacús y los cerros Chivilic, Chuisacbalsajá, Ixturián, Los Monos, Xitzaquic, Xocomar y Xolpaxlax.
- San Antonio Ilotenango: sus cerros son Nimjip y Tocolol.

- San Pedro Jocopilas: la sierra Comitancillo y los cerros Santa María y Telecúx son parte de este municipio.
- Joyabaj: su bosque es húmedo montano bajo subtropical, contando con una montaña del mismo nombre.
- San Andrés Sajcabajá: se encuentran las montañas Los Achiotes, Sajquim y Xabaj; las sierras: Chacús y Sacapulas; y los cerros: Los Achiotes, Chabaj, Chuiaj, Chuipixab, Chuiscarbaj (Xabaj), La Coyotera, Mochbal, Sajmajil y Tintuleu.
- Uspantán: se encuentran las montañas Belejub, Chimiagua, Los Pajales y Yerbabuena; las cumbres Lamay, Los Canaques, Machlajau y Xolá; y la loma Nimanjuelo.
- Sacapulas: conformado por las sierras Comitancillo y Sacapulas; los cerros Chicué, Chuichac, Chumulchacán, Chupacbalam, Chuxquijel, Guantajau, La Campana, Negro, Tzujil y Xecanap.
- San Bartolomé Jocotenango: conformado por las montañas Cauxán, La Cumbre y Los Achiotes; y los cerros Corralabaj, Chuicamac, Chuipixab, Chuisacchoj, Chuisugil; Mamaj.
- Canillá: se encuentran las montañas Chicaj, Chimul, Patzité y Sajquim; la sierra Chuacús; y los cerros El Aguacate, el Carrizal, Sajcabaj y Xolotabal.
- Chicamán: es atravesado por las montañas Pajales y la Sierra de los Cuchumatanes.

- Baja Verapaz

Posee un clima variado, el departamento está cubierto casi en su totalidad por la sierra de Chuacús, por lo que algunos de sus municipios, aunque son horizontalmente vecinos, están separados unos de otros por grandes cerros propios de esas montañas.

- Salamá: su clima es variado, en el norte es frío, en el centro templado y en el sur cálido. Lo cruzan las montañas: Miranda, Aguacate, Ixcayán, Las Vigas, Los Paxtes, Quisis y Santa Rosa; la sierra Cuacús; y los cerros Colorado, Chilascó, El Carnero, El Cimarón, El Cimiento, El Copete, El Petate, El Portezuelo, La Cruz, La Montañita, entre otros.
- San Miguel Chicaj: predomina el clima cálido. Es atravesado por las montañas Chicholom, Chipicom, Chiquihuital, Chopén, Ixcayán, Santa Apolonia y Santa Rosa; y la Sierra de Chuacús.
- Rabinal: con un clima cálido en el valle y frío en la montaña. Esta atravesado por la Sierra de Chuacús y los cerros Piedras de Cal, Piedras Azules, Chuitinamit, Cuxbalam, entre otros.
- Cubulco: el clima es semiseco y es atravesado por las montañas Chimiagua, Los Pajales, Los Tablones, Piedra del Tigre y Yerbabuena; y los cerros Belejtzac, Chibaquito, Chupac, Volcancillo y Xum y otros 20 más.
- Granados: atravesado por la Sierra de Chuacús y cuenta con el volcán Concul.

- El Chol: atravesado por la Sierra de Chuacús y las montañas Las Cañas y Plazuelas.
- San Jerónimo: conformado por las montañas De Miranda, La Laguna y Santa Cruz; la Sierra de Las Minas y el cerro Tres Rostros.
- El Progreso

Con terreno irregular y clima cálido, está conformado por la Sierra de las Minas, que lo atraviesa al norte del río Grande o Motagua.

- Guastatoya: posee un clima templado y cálido, con alturas variables y topografía montañosa quebrada.
- Morazán: conformado por las sierras de Chuacús y de las Minas, los cerros La Cruz, El Cubilete, El Piña, Gordo, Ocote Rajado, Pitoreal y Saca Sangre, entre otros.
- San Agustín Acasaguastlán: posee la Sierra de las Minas y varios cerros entre los que se encuentran: Comajá, Alfora, Don Chico, El Cimientito, de la Cruz y El Fortín. Está conformado por las montañas El Jute y La Cobana.
- San Cristóbal Acasaguastlán: se encuentra la Sierra de las Minas, y los cerros: El Astillero, Cruz de Alvarado, Loma de Nanzal, San Cristóbal y Uyús.

- El Jícaro: se encuentran los cerros El Mulatal, El Nanzal Ananopa y Mal País, además de ser atravesado por la Sierra Madre.
- Sanarate: posee cerros que provocan pendientes como La Vigía, de Fuego, de Pino, Alto, Piedra de Cal, Las Pitahayas, Ojo de Agua, La Presa, Almolonga, La Palma, Guacamayas, El Pinalito y Peña de la Virgen.
- Sansare: terreno con varias hondadas, conformado por los cerros Alto, de Pino, El Suspirón, La Pastoría y otros catorce más.
- San Antonio La Paz: se encuentran las montañas Los Ocotes y de Palencia, además, está rodeado por cerros como Loma Alta, Del Pimiento, Tambor Grande y Plátanos.
- Zacapa

Es un departamento montañoso atravesado por la Sierra de las Minas, con un cauce del río Motagua que forma tres valles: el Valle Superior que posee una zona forestal, Valle Meridional que es una zona árida y Valle Bajo que constituye un bosque tropical húmedo.

- Estanzuela: está ubicado en la Depresión del Motagua, presentando un clima cálido y seco.
- Río Hondo: lo conforman la Sierra de las minas y montañas pequeñas como: El Licenciado, El Cidral, El Imposible y El Chagüite. Además, existen dos volcanes: Las Palomas y San Toribio, situados en la parte montañosa.

- Gualán: con un clima cálido lo conforman catorce montañas: El Mirador, El Zapote, Cimarrón, La Providencia, Santa Gertrudis, Chical, del Jubuco ShinShin, El Bote, El Islote, El Socolón, de la Sierra, del Chorro, La Jigua y Jalapán. Posee una cumbre llamada Santa Rosita y las Sierra de las Minas y del Merendón.
- Teculután: está conformado por los cerros El Astillero, Cenegal, La Ventana y, Santo Domingo y La Rambla.
- Usumatlán: conformado principalmente por los cerros Agua Caliente, Bandera Perdida, El Cuerpo, Gallinero, De la Cruz Joya Grande, Tapa de Dulce y Las Pulgas. Sus principales montañas son Mansilla y El Alto.
- Cabañas: posee un clima cálido seco y dentro de sus accidentes geográficos están los cerros La Campana, El Pacayal, El Temblador, Piedra de Cal y el Cuervo.
- San Diego: dentro de sus accidentes geográficos se encuentran cuenta las montañas de Loma Alta, San Ignacio y el cerro Las Campanas.
- Huité: Las características orográficas del municipio de Huité, departamento de Zacapa son variadas, ya que existen áreas que muestran una planicie que permite realizar diferentes cultivos, mientras que en otras el terreno es quebrado. Los accidentes orográficos que conforman los 87,33 kilómetros cuadrados del municipio son: Chipilinar, El Roblar, El Maíz Viejo, El Yajal, Mal

Paso, Filo de Nance, Filo de la Caña Brava, La Laguna, Las Lomas, Loma del Cura, Loma del Frío, Mal País, Matazano, Redondo, Tabacal.⁴

- Chiquimula

Sus cerros principales son Brujo que colinda con El Salvador y Montecristo, los dos ubicados en la Sierra del Merendón.

- San José la Arada: terreno con irregularidades, ubicado en las tierras altas del Pacífico, contando con áreas montañosas, planicies y valles.
- San Juan la Ermita: dentro de sus 27 cerros se encuentran Blanco, El Jute, El Terreno, La Ceiba, Blanco, Carrizal y Las Cuevas.
- Jocotán: lo conforman los cerros: Las Candelas, La Bandera, Palmilla, Quebracho, Pericón y Colorado.
- Quetzaltepeque: posee un volcán que lleva su nombre, conocido como cerro de Chiramay, además, cuenta con 25 cerros que lo rodean, entre los que se mencionan Zarzal, Chispán, Calichón, Azacualpa, entre otros. Asimismo, cuenta con montañas como La Cumbre, Las Cebollas, Nochán, Tíalao, La Brea, Títuque,
- San Jacinto: famoso por la cumbre El Arenal, la cual se encuentra rodeada de cerros entre los que se pueden mencionar Miramundo, La Paloma, Pipitroque y Anisillo.

⁴ Usac. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión.*

- Ipala: Atatán, Colorado y Las Ruedas son algunos de los cerros que rodean el famoso volcán Ipala.
- Jalapa

Posee montañas como El Norte y La Cumbre en San Pedro Pinula, Güisitepeque, y Aguacate; sus volcanes Juamay, Cerro Mojón, Monterrico, Alzatate y su cerro es nombrado Lagunilla localizado en San Luis Jilotepeque.

- San Pedro Pinula: municipio que cuenta con los cerros El Cubilete, El Gavilán, La Burrera, Chucunhueso, Las Ventanas, Piedra Colorada, Santiago, Tobón, y Redondo; y con montañas llamadas, El Pinalón, La Cumbre, Del Norte y Del Silencio.
- San Luis Jilotepeque: conformado por las montañas El Pinalón y Zuril y los cerros Colorado, La Lagunilla, Las Cabras, Las Minas y Redondo.
- San Manuel Chaparrón: posee los cerros Agua Caliente, El Gallo, La Criba, La Paja, Amatillo, Natividad y la Peña así como el Volcán Monterrico.
- Mataquescuintla: entre sus accidentes geográficos se encuentran las montañas: La Sierra, San Miguel, Soledad Grande, Colorado, El Carrizal, El Copante y Samororo. También está conformado por los cerros La Cueva, Peña Oscura, Santiago, Cueva del Sope, Miramundo y Uxequez.

- Jutiapa

Con clima templado y territorio montañoso y volcánico, El Chingo en Atescatempa, Jerez como parte de la República de El Salvador, Tahual como parte de El Progreso, Suchitán en Santa Catarina Mita y Moyuta son sus principales volcanes. Corral Dalso y Rincón Grande en el municipio de Quezada, y El Toro en Nueva Moyuta son unas de sus principales montañas.

- Santa Catarina Mita: los cerros Ixtepeque, Bonete y San Vicente así como el volcán Suchitán son los principales accidentes geográficos.
- Agua Blanca: lo conforman los cerros Las Arenas, Montoso, San Gaspar, Redondo, de los Pinos, Camposanto, Panalvía, Mioco, Lencho, Dos Cerros, Las Piedras, La Iguana, El Bonete, Sinaca, Monterrico, entre otros.
- Asunción Mita: lo conforman 46 cerros entre ellos: Campana, Colorado, Mongoy y Ostúa, así como su volcán principal Ixtepeque.
- Moyuta: el volcán Moyuta es parte de su territorio al igual que 8 montañas y 9 cerros. Dentro de sus cerros se encuentran: Cerro Las Cruzadillas, Loma Larga, El Zapote, La Bandera, Cerro Ventana. Parte de sus montañas son: El Cuilotillo, Maguey, San Andrés, San Antonio, El Melonar y La Nueva.

- Pasaco: con clima cálido se caracteriza por su relieve montañosa y cerros de poca elevación.

1.1.3.9. Hidrografía

Países como Israel han optado por el uso de energía solar para crear sistemas que ayuden en el crecimiento de cultivos, mismos que se han visto afectados por la sequía que los caracteriza. Sin embargo, dichos proyectos requieren hacer uso del recurso hídrico, el cual no representa la mayor riqueza de regiones áridas, aún así, se han realizado los sistemas basándose en el agua contenida debajo de la tierra, es decir mantos freáticos, así como los ríos, lagos, riachuelos, entre otros. Cabe recalcar que Guatemala posee mayor riqueza hídrica que Israel y el Corredor Seco no es catalogado como zona árida, por ende los sistemas solares representan una gran alternativa y oportunidad de desarrollo para el país centroamericano.

Para mayor amplitud del impacto de sistemas solares en países cálidos, en título 4 se expone dicha comparativa, para demostrar las ventajas obtenidas en otros países. Cabe señalar que Guatemala no cuenta con información amplia de los mantos freáticos, especialmente en la zona del Corredor Seco, no obstante el MAGA hace referencia a que los mantos freáticos, coinciden con el hecho de presentar menor profundidad en regiones de menor altitud. Por tal motivo esta sección se basa en los ríos, lagos, riachuelos y demás potencial hídrico con el que cuenta Guatemala.

“Guatemala es un país con potencial hídrico, pues lo conforman 7 lagos, 19 lagunas costeras, 49 lagunas, 109 lagunetas, 7 embalses y 3 lagunas

temporales. El potencial de agua subterránea, calculado con base en el índice de infiltración se estima en 33,699 millones de metros cúbicos.”⁵

No obstante la población depende del agua para subsistir, derivado de los distintos usos de la misma, como lo son los usos domésticos, agrícolas, sistemas de riego, entre otros. Pero el continuo crecimiento poblacional ha conllevado al aumento de contaminación, especialmente del sector industrial, aunado al mal uso del recurso y falta de cuidados, son las grandes causantes de la destrucción de recursos hídricos y reducción de mantos freáticos.

Como todo acto trae consigo consecuencias, la falta de la calidad administrativa del agua es un claro ejemplo de ello y lo sabe bien la población que ha sufrido los efectos de un deterioro hídrico, pues se ven expuestos a enfermedades, disminución de calidad de vida, alimentos insuficientes y entornos inadecuados de subsistencia.

- Quiché

Las mejores áreas para la exploración de agua subterránea están en la en la parte central del departamento. Los acuíferos de piedra caliza comprenden aproximadamente el 20 por ciento del departamento, los cuales producen variables cantidades de agua dulce. Estos acuíferos son apropiados para pozos tácticos y de bombas manuales.

- Zacualpa: cuenta con 21 ríos, un riachuelo y nueve quebradas.
- San Antonio Ilotenango: posee los ríos Chijoj, Chop, Joj, Pamesa Bal, Tzununá, camocutz, Chucuchup, Paxocol Chocajá, Cojol y

⁵ Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico de Guatemala*, 2003. p. 20.

Pachitac; los lagos San Antonio, Chiaj, Chicho, Tzancaqui y las quebradas Pasuc y Parzalbal.

- San Pedro Jocopilas: cuenta con los riachulos Chacalté, Chifón, El Remolino, Quequexque, Zacatón, Chicajcuc, Chuchabaj, Las Flores, Tierra Negra, Chijolom, El Camán, Pacamán, Tzujil.
- San Andrés Sajcabajá: está compuesto por los ríos Agua Caliente, Cacuj, Chilil, Chinimasiguán, Chixoy o Negro, Chunsanyab, Lagulix, Las Casas, Lilillá, Pasabaquiej, Sacaj, San Sebastián, Tapezquillo, Tierra Colorada, Tucunel, Xecam y Xoljá Opaquiej; los riachuelos Mixcolajá y Santa Elena; y las quebradas Chiguanchoc, Chinantón, Chuarrancho, Los Achiotes y Mamaj.
- Uspantán: posee 48 ríos, entre ellos: Agua Fría, Blanco, Chicamán, Chixoy o Negro, Los Encuentros, Naranjo, Tierra Colorada y Xejul; los riachuelos: Batzul, El Mico, Negro, Palqui, Ojo de Agua, Sacubul, y San Antonio; 61 quebradas, de las cuales están: Agua Colorada, Chicamán, El Aguacate, Las Tristezas, Xolá y Zapote; y las lagunas La Laguna y Sacpec.
- Sacapulas: posee los ríos Blanco, Chiguatuj, Chixoy y Negro, Churchuyá, El Naranjo, El Pajarito, Parraxtut, Pasacul, Salquil, San Sebastián, Santa María, y Yapur; los riachuelos Concepción y Mixcolajá. Además, cuenta con 30 quebradas de las cuales las más importantes, son: Barranca Fiera, El Aguacate, La Libertad, Panimá, Tucán y Xetabal.

- San Bartolomé Jocotenango: cuenta con los ríos Agua Caliente, Cucul, Chitzunún, Chuipascaman, Eqca o Jorronilajá, Pacam, Pacholchiyá, Panimá, Pquix, Patzam, Salquil, San Sebastián, Xecam, Xolja o Paquiej; los riachuelos: Chuacotz, Mulubá, Pachacaj, Paxicxil, Temeyá; y las quebradas: Anacapoj, Cheachi, Chicalté, Chiís, Chioj, Chuacorrall, Chuarrancho, La Palma, Las Canoas Namaj, Pachicajom, Pacaxoy, Panimá, Patucán, Quiejché, Tacachat y Tacrebal.
- Canillá: se encuentran las montañas Chicaj, Chimul, Patzité y Sajquim; la sierra Chuacús; y los cerros El Aguacate, el Carrizal, Sajcabaj y Xolotabal.
- Chicamán: posee los ríos Agua Caliente, Cacuj, Chijoy o Negro, Lilillá, Pasabaquiej, Sajcap, Sajquim, Vega del Muerto y Xolotabal; los riachuelos Chimistan, Chijoy y El Rincón y la laguna Agua Tibia.
- Baja Verapaz
 - Salamá: entre sus ríos más importantes se encuentran el Salamá, Chilascó, San Isidro y Las Flautas, de estos dos últimos se forma la catarata Zacualpa de la cual proviene el caudal para generación eléctrica.
 - San Miguel Chicaj: posee los ríos San Miguel, Carchela, Chicajá, Dolores, Ixcayán, Nimacabaj, Negro, Quillillá Salamá y San Rafael; las quebradas Agua Blanca, Concepción, Champérez, Chicolom, Chixolop, Chopén, Chupey, El Achiote, El Burro, El Jute, El León, El Mezcal, El Obraje, El Palmar, El Palmarcito, Jabillal, Joya del

Tigre, Las Minas, Los Corrales, Pacaco, Pastores, Piedra de Fuego, Plátanos, Postrare, Quiate, Salto de Agua, San Luis, Santa Rita y Tocoquito.

- Rabinal: posee los ríos Concul, Chiac, Chipacapo, Chipuerta, El Arco, Ixchel, Negrom Nimacabaj, Pachicá, Pachirx, Rabinal, Sajcap, Salamá, San Rafael, Xococ y Xolacoy o Las Vegas. Además, cuenta con aproximadamente 36 quebradas entre las que se encuentran: Bautista, Bentará, Buena Vista, Cacrch, Camalmada, Canchún, Picuc, San Luis.
- Cubulco: posee 35 ríos de los cuales destacan el Blanco, Calá, Cusulá, Chibalam, Rabinal, Saltán y Xeúl; el riachuelo Chimiagua; y 62 quebradas, entre ellas: Alibalabaj, Blanca, Coxom y Chorro Blanco.
- Granados: posee 35 ríos entre los que se pueden mencionar: Blanco, Calá, Cusulá, Chibalam, Rabinal, Saltán y Xeúl; el riachuelo Chimiagua y 62 quebradas de las cuales destacan: Alibalabaj, Blanca, Coxom y Chorro Blanco.
- El Chol: posee los ríos Agua Caliente, Chiquito, De la Vega, El Chol, Grande o Motagua, La Virgen, Los Gavilanes, San Antonio, San Pedro y Suchicul. Entre las quebradas se encuentran: Casa de Teja, Chiquita, Chirrum, De Agua Tibia, De las Colmenas, El Aguacate, El Astillero, El Cacao, Carrizal, El Hato, El Maján, El Manzanillo, El Peñasco, El Purgatorio, El Sauce, El Tabloncito, El Zompopero.

- San Jerónimo: cuenta con los ríos La Estancia, San Jerónimo, Concepción, Chilasco, El Aguacate, El Jícara, Las Flautas, Matanzas, Piedra de Cal, Quebrada Honda, San Isidro, San Vicente, Sibabaj, Tasquehuite; los riachuelos El Naranjo, El Rosal, Santa Bárbara y Santa Catarina. Asimismo, posee las quebradas: Bellota, Del León, Del Pescado, El Cacao, El Cangrejo, El Carrizal, El Chorro, El Chupadero, El Hornito, El Mango, El Trigal, El Zapotillo, Honda, La campana, Las Garrapatas, Los Achiotes, Los Cerritos, Mojarrilla, Negra y San Antonio.
- El Progreso
 - Guastatoya: posee 30 quebradas y lo cruzan cinco ríos, siendo el principal el río Motagua.
 - Morazán: cuenta con varias quebradas, entre las cuales están: Agua Blanca, Ciruelillo, de los Leones, entre otros. Entre sus ríos están: Camote, El Jícara, Grande o Motagua, Las Flautas, Los Platanitos, Morazán y San Vicente y sus riachuelos El Tablón y San Clemente.
 - San Agustín Acasaguastlán: lo cruzan los ríos, Lato que se encuentra al lado oeste de la cabecera y el río Aguahiel que lo divide de oeste a este.
 - San Cristóbal Acasaguastlán: lo componen gran número de ríos, riachuelos y quebradas. Sobresalen los ríos: Río Grande, Motagua, El Cintillo, Hijó y Uyús.

- El Jícaro: posee 21 quebradas, de las cuales sobresalen El Chico, El Mojón y el Limón. Cuenta con un total de 8 ríos, siendo el más importante el Motagua.
- Sanarate: sobresalen los ríos Agua Caliente, Motagua, Guastatoya y Plátanos. Lo cruzan 27 quebradas y un zanjón, además de los riachuelos: El Coco, Las Tunas y las Anonas.
- Sansare: compuesto por los ríos Santa Rica, Seco, Grande y San Nicolás; los riachuelos El Tempisque, El Jabilal y Santa Rosa, las quebradas de Cisneros, Agua Salobre, La Loma, Los Terreritos, El Jute, El Capulín, El Salto, Tío Alejo y Las Cañas.
- San Antonio La Paz: lo bañan los ríos Plátanos que desemboca en el río Motagua, Agua Caliente que puede llegar a crecer en época de lluvia, además, recorre parte del territorio el río Agua Dulce, 14 riachuelos y 27 quebradas.
- Zacapa
 - Estanzuela: lo recorren los ríos, Grande de Zacapa y Motagua; los riachuelos El Aguacate, Loma de Piedra, Los Aragones y Seca y la laguna Los Yajes.
 - Río Hondo: lo conforman los ríos Agua Fría, Blanco, Cañas, Colorado, El Chorro, El Imposible, El Portón, El Repollal, Hondo, Jones, La Boca, La Horqueta, La Lima, Las Veguitas, Managua, Mojanal, Morán, Motagua, Pasabién, Santiago, Santo Toribio y

Viejo, el riachuelo Los Jutes y 47 quebradas de las que sobresalen Barranca Seca, Bejucal, Blanca, del Oro, El Café y El Mono.

- Gualán: compuesto por los ríos Arenal, Bailar, Blanco, Ceniza, El Islote, El Lobo, Guaranjá, Iguana, Jones, Lajillal, La Jigua, La Vainilla, Las Cañas, Los Achiotes, Los Mojones, Managua, Mayuelas, Moranal, Motagua, Santiago, Shinshin, Tinto, Zapote y Las Naranjas o Agial; los riachuelos: Doña María, La Leona, Mal Tiempo, Mestizo, San Vicente, Valladares y Pexjá y 140 quebradas.
- Teculután: posee los ríos Blanco, Chiquito, El Chorro, La Palmilla, Motagua, Negro, Santa Cruz y Teculután; el riachuelo Chiquito; y las quebradas: Barranca Seca, de Agua, del Oratorio, El Amatillo, El Salto, Honda, Las Escobas, Las Minas, Los Zopilotes y Santo Domingo.
- Usumatlán: bañado por los ríos Amatillal, Chiquito, El Gallal, El Jutillo, Huijón, La Palmilla, Motagua y Uyús; el riachuelo El Chiquito; las quebradas El Conté, El Mamache, El Repollo, Del Maguey, De la Leona, La Joya, La Oscurana, Los Jícaros, Lagartillo, Puentes Cuaches, San Carlos y Santa Rosa.
- Cabañas: bañado por los ríos Chimalapa, Jalapa, Motagua, San Diego y San Vicente; los riachuelos Jalapa y Santo Tomás; las quebradas Agua Caliente, Agua Zarca, El Agua, El Sunzo, El Jute, entre otras. Además posee un canal de riego que utilizan los agricultores del lugar.

- San Diego: bañado por los ríos Chiquito, Pampur y San Diego; y sus quebradas Agua Shuca, de Agua, de Pinula, del Rastro, El Cuje, Seca, entre otros.
- Huité: bañado por los ríos Huité, San Miguel, Motagua y San Vicente; las quebradas Caulotes, de la Tapada, El Aguacate, El Cedro, El Guayabo, El Jutal, El Jute, El Palmo, El Rejeguero, El Zapote, Honda, La Oscurana, La Puerta, Las Cabras, Los Pozos, Mayorga, Ojo de Agua, y Piñuelas; y un canal de riego que fue construido entre Huité y Cabañas.
- Chiquimula
 - San José la Arada: conformado por el sobresaliente río San José, así como varias quebradas como Agua Caliente, Chiscú, de Saspán, de Tierra Colorada y otras. También lo atraviesan los zanjones: Escamal, de la Sobrecama y Tercerón.
 - San Juan la Ermita: compuesto por vertiente de los ríos San Juan y Carcar y varias quebradas que bañan sus cerros, entre ellas Blanca, Chancó, Chayanón, Chispán, entre otros.
 - Jocotán: posee gran número de vertientes entre las que sobresalen: Carcar, Chingo, Grande o Jocotán, Hueviapa-Pampa o Chalchuapa y Shalaguá, además de contar con 30 quebradas que bañan sus cerros y valles.
 - San Jacinto: compuesto por la laguna El Carrizo; los ríos San Nicolás y Shutaque; así como por varias quebradas que recorren e

irrigan su territorio, entre las cuales están: Agua Amarga, Agua Zarca, Cimarrón, El Carrizal, El Chucte, entre otros.

- Ipala: conformado por la laguna de Ipala y los ríos Agua Caliente, Cacahuatpeque, Grande, San Francisco, San Sebastián y Songotongo. Además, son 24 las quebradas que transitan por sus terrenos y posee los zanjones: Amatillo y Chile.
- Jalapa
 - San Pedro Pinula: bañado por los ríos Blanco, Caulote, Chaparrón, del Norte, Jalapa, Del Jute, entre otros. También por los riachuelos El Zapote y Santo Domingo; las quebradas Conté, de Pampumay, de Tobón, del Carrizal y los zanjones De las Piedritas y De los Aguirre.
 - San Luis Jilotepeque: bañado por las lagunas Seca y Lagunilla, los ríos Camarón, Culima, Los Amates, Cushapa, Chibola, Panisgüis, San José, Songotongo y Trapichitos. Asimismo, posee los riachuelos Chiquirín, El Cajón, El Camarón, entre otros. Varias quebradas de las que sobresalen Chigüila, de Cerro Redondo, del Anonal y el zanjón El Salitre.
 - San Manuel Chaparrón: conformado por los ríos Chaparrón, Los Amates, Los Lobos y Ostúa o Grande, los riachuelos El Jute y Las Pilas y las quebradas sobresalientes Del León, Del Limón, El Garrobo.

- Mataquescuintla: entre su hidrología se encuentra la laguneta El Pozo; los ríos Colorado, Dorado, El Aguacate, Los Esclavos, El Molino, entre otros. Entre sus riachuelos se encuentran Astillero, Bellotal, Chapulín y Sumulas. Sobresalen las quebradas El Pantanal, El Cedro y Carrizalito.
- Jutiapa
 - Santa Catarina Mita: cuenta con el importante afluente del río Ostúa o Grande, así como con la laguneta San Pedro, el riachuelo La Barranca, el zanjón Chapetón y 20 quebradas entre las cuales están: Agua Caliente, Aguas Vivas, El Jiote y otras.
 - Agua Blanca: conformado por la laguneta Obrejuelo; los ríos Angue, Cacahuatetepeque, Platanar y Talquezal, además de 18 quebradas que irrigan todo su territorio.
 - Asunción Mita: sobresalen los ríos Ostúa, Mongoy, Tamazulapa, La Virgen y Tiucal. Entre los riachuelos están: Ataicinco, Agua Caliente, El Riíto, Las Marías, Las Piletas, entre otros. Es el lugar que cuenta con el mayor número de atractivos turísticos naturales.
 - Moyuta: lo bañan las lagunetas El Jocotillo, El Muchacho, El Tule, El Zarzal, Las Hojas y San Juan; 18 ríos entre los cuales están: Agrio, Paz que sirve de límite con El Salvador, Negro, El Zope y Las Carretas. Además, posee 9 riachuelos, 13 quebradas y diversos canales como el canal de Chiquimulilla, la Barra Del Jiote, la Bocana Del Paz, El Negro, y los zanjones Del Jiote, El Negro, La Danta y La Mocha.

- Pasaco: conformado por las lagunas Del Comendador, Nisguaya y el río Pasaco, el cual en su recorrido forma pequeñas pozas que son utilizadas como balnearios.

En total, Guatemala posee un escurrimiento superficial entre 1 760 y 3 190 m³/s (55,6³ y 100,6⁴ miles de millones de metros cúbicos por año), en su mayoría concentrado en cuatro meses en las zonas más secas y con distribución más uniforme en las regiones húmedas. El 55 % del territorio lo forman cuencas de repercusión internacional cuyas aguas en un 47,5 % van hacia México, 7 % a El Salvador, 6 % hacia Belice y una mínima fracción de 0,5 % hacia Honduras. Los ríos más caudalosos son el Usumacinta (1 800 m³/s), Motagua (240 m³/s), Polochic (161 m³/s), Sarstún (172 m³/s) e Ixcán (165 m³/s). En la costa sur, el río Suchiate (28 m³/s) es el de mayor caudal. Se estima que el volumen de las aguas subterráneas es de 33 699 millones de metros cúbicos por año.⁶

Guatemala cuenta con una precipitación promedio anual de 2 000 milímetros, de acuerdo a las variaciones presentadas en Zacapa, Chiquimula, Jalapa y Jutiapa, conocida como la Región Seca del oriente pues posee una precipitación de 700 milímetros y las que se presentan en la zona norte y occidente que pueden llegar hasta los 5 000 milímetros. El período sin lluvia o canícula en la región seca oscila entre los seis meses, aunque hoy en día se han originado períodos más largos, presentándose en julio y agosto una temporada de mayor sequía.

Guatemala posee en promedio una disponibilidad anual de más de 97 000 millones de metros cúbicos de agua divididas en superficiales y subterráneas, lo que indica que supera la demanda y costaría pensar que hoy en día se sufre pensando en la escasez, pero ello ocurre por la gran problemática ya muy conocida: la contaminación, la cual trae consigo las épocas esporádicas de apareamiento de lluvia.

⁶ Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico de Guatemala*. p.14.

“Las actividades agropecuarias, el comercio al por mayor y menor, las industrias manufactureras, el suministro de electricidad, gas y agua y la construcción, cuyo aporte conjunto al Producto Interno Bruto (PIB) alcanza un 58,2 % en promedio anual, utilizan el 95,4 % del consumo nacional anual de agua”⁷

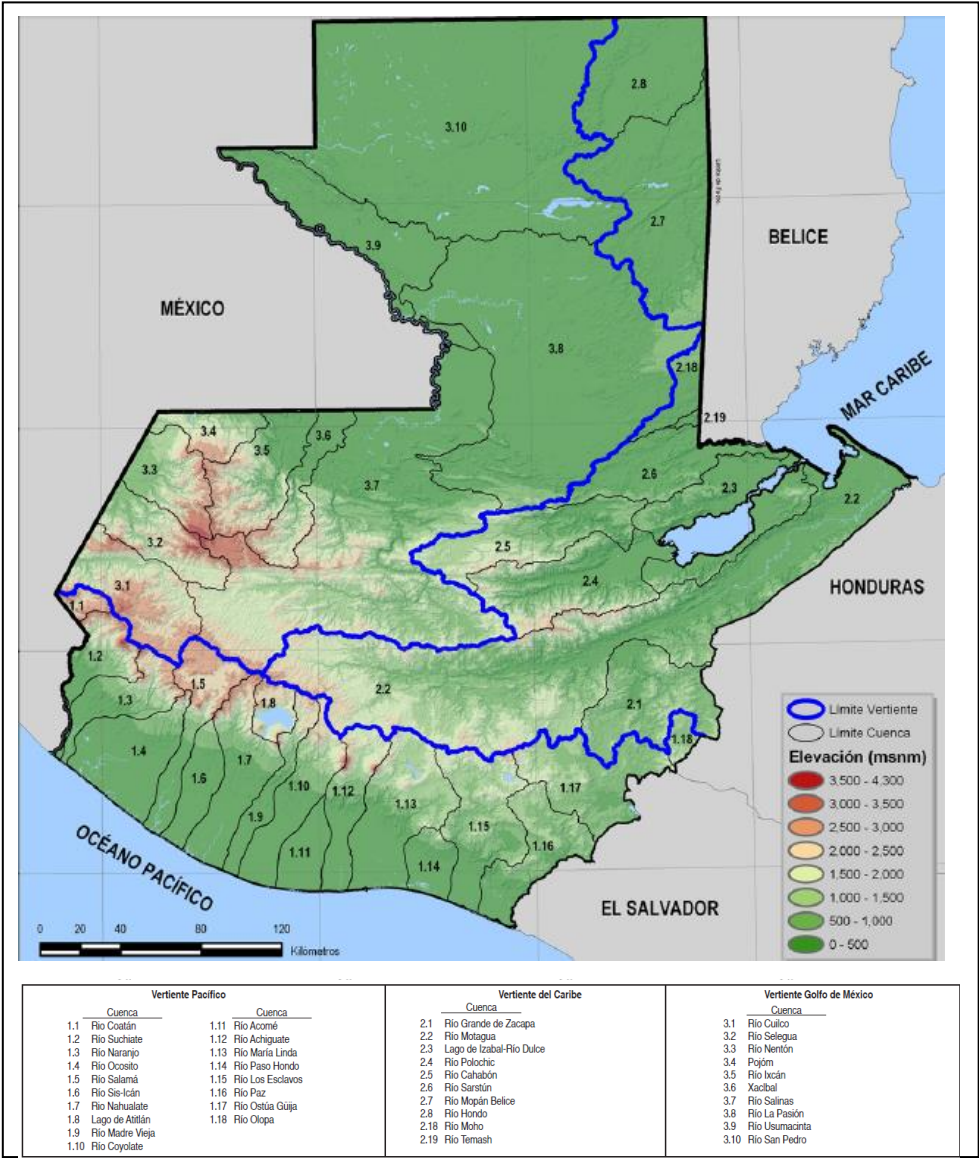
Tabla XII. **Utilización y obtención del agua**

Utilización anual nacional	Porcentaje
Agricultura de secano	42,27 %
Agricultura bajo riego	13,41 %
Industrias manufactureras	23,28 %
Suministro de electricidad, gas y agua	15,29 %
Consumo de hogares	1,97 %
Otras actividades económicas	3,18 %
Excluyendo agua de lluvia e hidroelectricidad	
Utilización anual nacional	Porcentaje
Beneficiado de café	54,08 %
Riego de caña de azúcar	11,66 %
Procesamiento de productos alimenticios	4,9 %
Riego de cultivo de banano	3,68 %
Riego de palma africana	3,34 %
Uso en hogares	2,8 %
Otros cultivos, industrias y servicios	
Obtención del agua	
Ríos	58 %
Pozos	25 %
Lagos	17 %

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Evaluación Ambiental y del Cambio Climático 2012-2016.

⁷ Evaluación ambiental estratégica, COSOP-BR Guatemala 2012-2016.

Figura 3. Cuencas hidrográficas de la República de Guatemala



Fuente: Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico en Guatemala.*

El mapa anterior (figura 3) muestra la capacidad hídrica de Guatemala según las cuencas que posee.

1.2. Cambio climático

“El clima en el planeta tierra es el resultado de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes (masas de tierra), la vida en el planeta (plantas y animales en los bosques y selvas, en océanos y en la atmósfera) y de la posición de la Tierra respecto al Sol”⁸.

El clima se manifiesta a través de fenómenos meteorológicos tales como la temperatura, nubosidad, precipitación, entre otros. Determinado a través de un promedio del estado del tiempo obtenido de las observaciones llevadas a cabo durante años, las cuales evidencian la variabilidad climática que se vive hoy en día, un ejemplo de ello es Guatemala donde anteriormente las estaciones del año estaban más marcadas.

Eventos como esos son resultado de los cambios de la atmósfera que impactan en la temperatura y el océano generándose fenómenos como “El Niño” caracterizado por el clima cálido y “La Niña” por un clima frío.

“El Niño” es un fenómeno que ocurre entre diciembre y marzo en intervalos de dos y siete años, caracterizándose por altas temperaturas en el océano Pacífico Ecuatorial, lo que altera la velocidad y dirección de los vientos que a su vez impiden el paso de nutrientes al fondo de los mares por los cambios de corrientes marinas, disminuyendo el desarrollo y adecuado crecimiento de especies marítimas. Asimismo, el fenómeno “El Niño” se caracteriza por las alteraciones de las corrientes atmosféricas lo que conlleva fuertes lluvias que desencadenan inundaciones.

⁸ CONDE, Cecilia. *México y el cambio climático global*. p. 19.

El fenómeno “La Niña” se denomina como la fase fría debido a las bajas temperaturas en el océano Pacífico Ecuatorial, provocando sequías cuando su duración es prolongada, sin embargo, se presenta con menos frecuencia que “El Niño” pues ocurre en un período de 3 a 7 años. Se caracteriza por vientos fuertes que permiten el paso de agua caliente superficial hacia Asia, lo que brinda mayor cantidad de nutrientes para las especies marítimas pero una reducción de lluvia lo que produce sequía, sin embargo, la reducción de precipitaciones por este fenómeno no es algo que ocurra en el oeste del Pacífico, pues las altas temperaturas del agua traen como consecuencia períodos de lluvia que provocan grandes inundaciones especialmente en América Central.

El cambio climático se entiende entonces como una modificación del clima que amenaza a la humanidad, provocando una reducción anual de la precipitación. Se atribuye su generación a las emisiones de gases, mal manejo de recursos naturales que al final del día son producto de la actividad humana ya sea de forma directa o indirecta. Sus consecuencias afectan al mundo entero especialmente a países como Guatemala y otros subdesarrollados.

1.3. Radiación solar

“Es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.”⁹

⁹ *Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC)*. p. 36.

La cantidad de energía que procede del sol deberá ser la misma que se devuelva al espacio para mantener un balance de la energía, pero antes de que este calor pueda ser emitido a la atmósfera, permanece durante un tiempo en la Tierra almacenándose de distintas maneras dando lugar a fenómenos atmosféricos y oceánicos.

La atmósfera está compuesta de distintos gases y esa composición es la que permite la obtención y emisión de energía calorífica. Esos gases son comúnmente conocidos como “gases efecto invernadero” por tener la función de dejar pasar la radiación proveniente del sol y resguardar la que la Tierra emite hacia fuera, lo que ocasiona que el interior de la Tierra permanezca caliente y en un estado óptimo la temperatura sería cálida a excepción de que se disminuya la composición de gases, lo que equivaldría a que la temperatura de la Tierra fuese comparada con un horno y de lo contrario se estaría en un estado cercano al congelamiento.

Para la meteorología es de gran importancia conocer la Constante Solar (S_0) pues con ella se conoce la cantidad total de energía que llega a la Tierra por área, ya sea en metro cuadrados, centímetros cuadrados, entre otros; y por tiempo (hora, minutos).

La radiación que se recibe en la Tierra depende de la duración y de la intensidad. La duración la indica lo largo del día mientras que la intensidad es controlada por el movimiento de la Tierra con relación al sol y su aumento será directamente proporcional a la elevación del sol en el cielo. Es por ello que existe mayor radiación al medio día, debido a que el camino recorrido por los rayos en la atmósfera es menor cuando la elevación solar es mayor, y el Albedo de la superficie terrestre es mayor cuando el ángulo de incidencia es menor.

Para determinar la radiación el instrumento más utilizado es el actinógrafo, localizando la radiación según la posición geográfica y está constituido por dos partes fundamentales: la unidad sensible que está situada en la parte más alta del instrumento y la unidad de registro representada por un conjunto de palancas que terminan en un brazo.

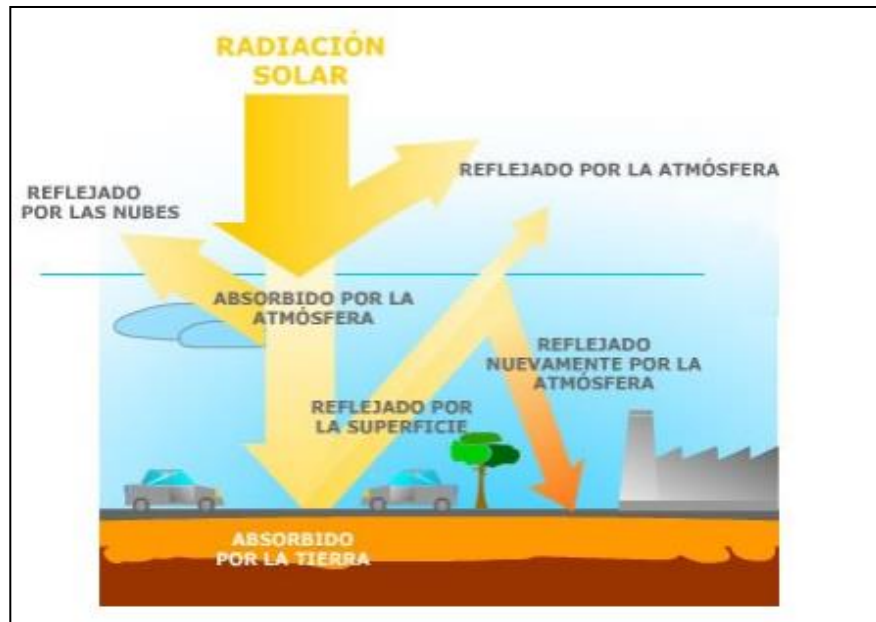
Las medidas de la radiación son importantes para:

- Estudiar las transformaciones de la energía en sistema Tierra-atmósfera.
- Analizar las propiedades y distribución de la atmósfera, los elementos que la constituyen, tales como los aerosoles, el vapor de agua, el ozono, entre otros.
- Estudiar la distribución y variaciones de la radiación incidente, reflejada y total.
- Satisfacer las necesidades derivadas de las actividades de la biología, de la medicina, de la agricultura, de la arquitectura, de la ingeniería y de la industria relacionadas con la radiación.

De acuerdo a como reciban los objetivos la radiación solar, esta se puede clasificar en:

- Radiación directa: proviene directamente del sol y no sufre alteraciones.
- Radiación difusa: radiación que atraviesa la atmósfera y se refleja o se absorbe por medio de las nubes.
- Radiación reflejada: reflejada por la superficie terrestre dependiendo del coeficiente de reflexión, también conocida como Albedo.
- Radiación global: suma de todas las radiaciones es decir, directa, difusa y reflejada.

Figura 4. **Proceso de la radiación solar**



Fuente: *Interacción de la radiación solar con la atmósfera y la superficie de la tierra.*

<http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/jpg/>. Consulta: febrero de 2015.

1.3.1. Procesamiento y conversión de la radiación solar en energía

La radiación solar trae consigo la creación de formas de energía renovable como la proporcionada por el viento o la biomasa que son incidencias indirectas de ella. Aproximadamente $5,4 \times 10^{24}$ Joules es la cantidad de energía proveniente del sol que capta la Tierra. La Tierra recibe la radiación electromagnética del sol y envía calor igual a la que fue recibida. La energía entonces dependerá de la intensidad de la radiación recibida por la Tierra, las condiciones climatológicas y los ciclos diarios y anuales (estaciones).

La energía solar llega a la superficie de dos maneras: incide en objetos iluminados por el sol (radiación directa), o por reflexión de la radiación solar que se absorbe del aire (radiación difusa) la cual es aprovechada por células fotovoltaicas.

Cuando se mide la radiación incidente se elaboran mapas para estimar la radiación solar sobre el territorio, la forma más común de obtener las variaciones es por medio de distribuciones de frecuencia y curvas de potencia.

Para convertir la radiación solar en energía se hace uso de dos sistemas: la tecnología fotovoltaica y la térmica. La primera convierte los rayos solares en energía eléctrica y la segunda se obtiene a través de bioclimatismo que son aplicaciones en las que se obtiene la energía por unos elementos en los que circula un fluido que absorbe la energía proveniente del sol.

1.4. Historia de la energía solar

Es interesante saber cómo ha sido la evolución de la energía solar a través del tiempo. El primer uso de esta energía se remonta a los romanos quienes fueron los primeros en usar las ventanas para que el sol irradiara en las casas. Según textos se cuenta que en el tiempo de Arquímedes en la Antigua Grecia se utilizaron espejos hexagonales de bronce para reflejar los rayos del Sol y destruir la flota, esto durante la batalla de Siracusa (Siglo III a.C.).

En 1515, Leonardo da Vinci comienza un proyecto que no logró finalizar, la idea era construir un concentrador para producir vapor y calor a base de espejos cóncavos.

Georges-Louis Leclerc también puso en práctica la energía solar, motivado por la guerra de Siracusa, lo que lo llevó, a darse cuenta que podía producir fuego por medio de cristales que recibían las radiaciones del sol. Finalmente construye su proyecto basado en 360 piezas de cristal.

El primer colector solar fue creado por el suizo Horace de Saussure en 1867. Basados en ese invento el francés Auguste Mouchout produjo vapor para mover un motor por medio de un colector solar.

Las primeras celdas fotovoltaicas fueron creadas alrededor de 1880, elaboradas con selenio. A mediados del siglo XX se acelera el desarrollo de la energía solar, ejemplo de ello es el calentador solar elaborado en 1936, por Charles Greely y un satélite pequeño alimentado con una celda solar en 1958.

En la última década de los años noventa se acrecienta la importancia de la energía solar debido a crearla como alternativa para el petróleo.

1.5. Teoría de la energía solar

La energía solar es una energía renovable que se obtiene del sol para generar calor y electricidad. El calor se obtiene mediante colectores térmicos y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos.

Es necesario entender dos tipos de energía solar que son: energía solar fotovoltaica y energía solar térmica. En el caso de la energía solar fotovoltaica emplea paneles o módulos fotovoltaicos mientras que la energía solar térmica utiliza paneles que se denominan colectores solares. Su uso trasciende desde la producción de combustibles, hasta la calefacción.

- Energía solar térmica

La energía solar térmica convierte la radiación del Sol en calor. Su uso más común es en los calentadores de agua aunque también se utiliza para calefacción. Para producir esta energía se hace mediante alta o baja concentración.

- Energía solar térmica de baja temperatura

- Sistemas abiertos

Disponen solamente de un circuito de circulación del fluido térmico, regularmente agua utilizada en baños con mayor frecuencia. Entre sus ventajas están el mantenimiento sencillo y una buena eficiencia.

- Circuitos cerrados

A diferencia del sistema abierto, acá se disponen de dos circuitos independientes contactados térmicamente por medio de un intercambiador de calor que mantiene alejado el fluido térmico.

- Elementos del sistema

El principal elemento de la energía solar térmica son los captadores solares, los cuales calientan el fluido impidiendo que un porcentaje salga hacia el exterior, esto para captar de forma eficiente la radiación.

Es recomendable que los captadores sean de vidrio pues el material que presenta mejores resultados, asimismo, deben ser planos y de vacío para tener alto rendimiento, utilizándose frecuentemente en piscinas pues como se menciona anteriormente calientan fluidos especialmente el agua.

$$\text{Eficacia del captador} = \frac{\text{absortancia (capacidad de absorción de calor)}}{\text{emitancia (capacidad de reflexión del calor)}}$$

En algunos países como España los captadores están regidos por las Normas ENV 1991-2-3 y ENV 1991-2-4, donde se especifica que los colectores deben soportar la carga de nieve y fuerza de viento.

$$\text{Rendimiento de un captador solar} \quad \eta = \frac{Q_u(\text{energía útil})}{\text{área (m}^2\text{)} * \text{irradiación solar (W/m}^2\text{)}}$$

Para un mejor rendimiento de los captadores, es necesario que el ángulo mínimo sea de 20° entre el rayo solar y la horizontal. Asimismo, necesitan de un acumulador de energía para períodos de tiempo en donde el sol es escaso o bien es una época invernal.

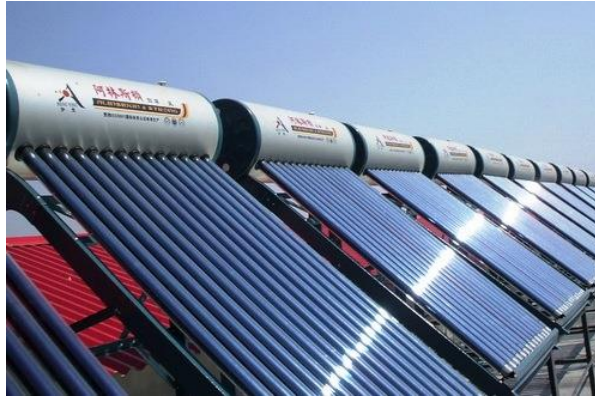
- Energía solar térmica de media temperatura

Se utilizan en procesos industriales y para la generación eléctrica, alcanzando temperaturas oscilantes entre los 100 y los 400 °C.

- Energía solar térmica de alta temperatura

Estos tipos de sistemas se utilizan para centrales termosolares, instalados en lugares desérticos para la captación eficaz de radiación solar. La temperatura oscila entre los 250 y 2 000 °C.

Figura 5. **Energía solar térmica**



Fuente: *Paneles solares*. <http://www.biodisol.com/>. Consulta: diciembre de 2014.

- **Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica se obtiene por medio de la utilización de células fotovoltaicas que transforman directamente la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua. Entre las ventajas del uso de la célula es que no posee partes móviles, no consume combustibles fósiles ni poluciona y se denomina fotovoltaica PV, ya que se deriva de las palabras *photo* que significa luz y *voltaiics* que significa voltaje eléctrico.

La energía solar fotovoltaica produce un efecto fotoeléctrico instantáneo debido a que la radiación aparece sin retraso, puesto que el número de fotoelectrones que se emiten es proporcional a la radiación.

Como se mencionó con anterioridad la energía solar fotovoltaica necesita de celdas para producirse, esta celda o célula fotovoltaica convierte la luz en energía eléctrica. Principalmente se elaboran a base de silicio aunque existen diversos materiales para su elaboración, por ejemplo.

- Células de arseniuro de galio

Son las más indicadas para fabricar módulos debido a que su eficiencia y capacidad de soportar altas temperaturas, pero presenta altos costos y el material es difícil de conseguir.

- Células de silicio amorfo

Son más económicas que las de arseniuro y presentan gran capacidad de absorción, excelentes para crear células fotovoltaicas.

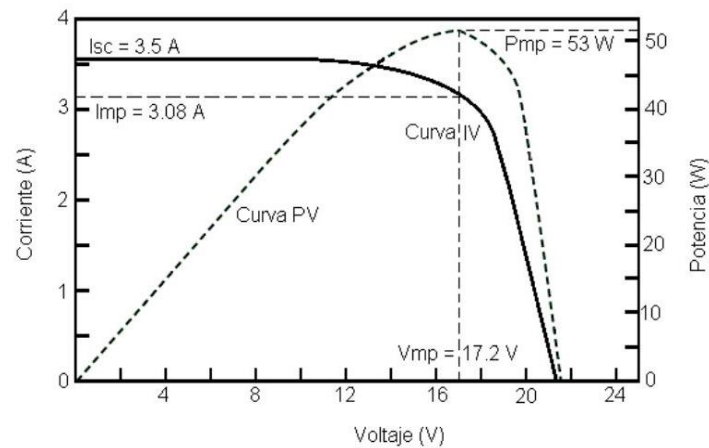
- Rendimiento

El rendimiento de una celda fotovoltaica se expresa en watt-pic (Wp), ya que es la potencia que se debe suministrar al momento de incidir sobre ella la radiación solar de 1 000 W/m² a una temperatura de 25 °C.

$$\text{Horas teóricas de insolación} = \frac{\text{W/m}^2 \text{ insolación}}{1\,000 \text{ W/m}^2}$$

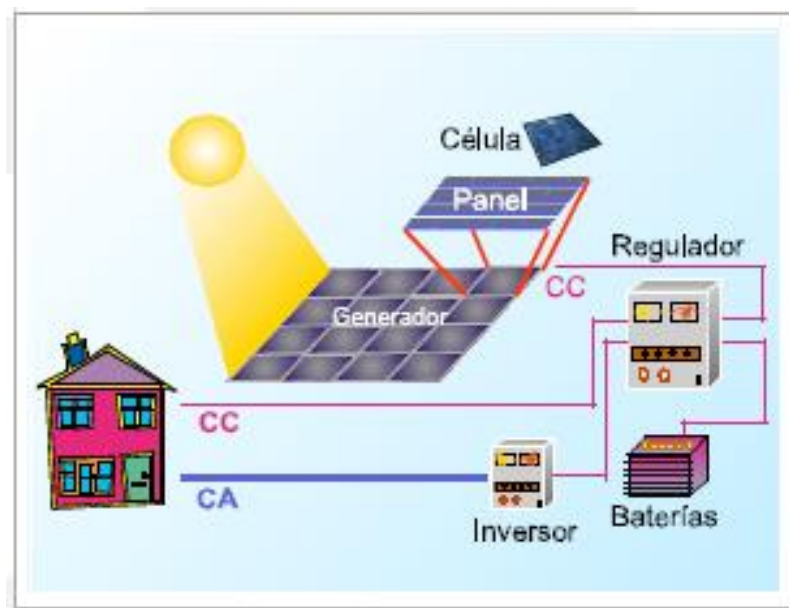
Mediante la figura 11, se muestra la curva I-V (intensidad/tensión) que expresa el rendimiento de una celda fotovoltaica, colocando la potencia en vatios pico, la cual es el punto máximo de rendimiento de la celda.

Figura 6. **Curva I-V y P-V de un módulo fotovoltaico**



Fuente: *Curva I_V y P_V de un módulo fotovoltaico*. www.gobiernodecanarias.org.
Consulta: febrero de 2015.

Figura 7. **Energía solar fotovoltaica**



Fuente: *Energía solar*. www.boraris.com. Consulta: febrero de 2015.

1.6. Energía solar en Guatemala

Dada la posición geográfica del país, este tiene un alto potencial de energía solar, misma que será detallado en secciones siguientes y se propone para ser aprovechada y convertida en proyectos que diversifiquen la matriz energética, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y desarrollo tecnológico por medio del uso de otras fuentes de generación eléctrica.

1.6.1. Aplicación de la energía solar en Guatemala

La energía solar en Guatemala es mínima, apareciendo sus primeras aplicaciones en los años ochenta. Sus aplicaciones se dan más en el área rural debido a que son las zonas con mayor necesidad de energía eléctrica.

El Ministerio de Energía y Minas es una institución que fomenta el uso de sistemas fotovoltaicos, como medida alternativa para contrarrestar la falta de energía en los lugares con mayor pobreza.

En mayo de 2014, Prensa Libre informó sobre la inauguración de la primera planta de energía solar en Guatemala, considerada la más grande de Centroamérica pues tiene la capacidad de producir 5 000 kilovatios, en comparación con la de Costa Rica que produce 4 600 kilovatios. El proyecto fue impulsado por las empresas Grupo Green de Guatemala, Gran Solar de España y el Fondo de Inversiones de Suiza Ecosolar; y elaborado en un tiempo de 4 meses (enero-abril de 2014). Fue denominado “Sibo”, ocupando una extensión de casi 14 hectáreas de terreno, necesitándose más de 20 mil paneles fotovoltaicos y 15 motores para la generación eléctrica. La empresa Energuate le suministrará energía a la planta en un período de tiempo de 16 años.

El proyecto está ubicado en Zacapa en el municipio de Estanzuela, fue inaugurado por el presidente Otto Pérez Molina quien catalogó el proyecto de histórico por ser el primero en Guatemala y el más grande a nivel centroamericano, asimismo, expresó que el país se está moviendo hacia la energía renovable y hay disposición del gobierno de seguir impulsando estos proyectos que son amigables con el medio ambiente. Con proyectos como este se puede asegurar que la economía del país seguirá creciendo para ayudar a muchas familias que hoy están en la pobreza.

1.7. Políticas públicas de energía solar en Guatemala

A través de los años se han desarrollado políticas públicas que obliguen al Estado a satisfacer las demandas de la sociedad. Para el período 2008-2012, estas políticas se rigen por cuatro ejes: solidaridad, gobernabilidad, productividad y regionalidad como una estrategia de dirección y alineación.

En el caso de la energía de Guatemala la finalidad de la política es orientar a los sectores energéticos al desarrollo social, económico y ambiental con el fin de satisfacer las necesidades de la población.

La demanda de energía está en constante crecimiento lo que aumenta la importancia de crear proyectos a base de recursos renovables que no contaminen el ambiente, no contribuyan con el cambio climático y ayuden en la diversificación de la matriz energética, por tal motivo, el Congreso de la República en un afán de promover estos proyectos crean la Ley de Incentivos para el Desarrollo de proyectos de Energías Renovables, decreto 52-2003, la cual contempla nueve artículos en los que se establecen los incentivos fiscales, económicos y administrativos.

La energía solar, objeto de estudio de este documento, es una de las contempladas en la ley creada por el Congreso, sin embargo, no existen normativas que fomenten y regulen un tipo de tecnología específico aplicado en la instalación de energías renovables, por tal motivo la energía solar se somete a la legislación aplicada para las provenientes de fuentes renovables.

- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable. Decreto 52-2003.

Consta de 9 artículos y tiene como finalidad incentivar el desarrollo de proyectos de energía renovable, debido a la necesidad de electrificación del país por medio del aprovechamiento eficiente de recursos naturales que son suficientes en calidad y cantidad en Guatemala, lo que otorga independencia de compra de combustibles fósiles, acceso económico de energía y repercute positivamente en el ambiente.

- Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable. Acuerdo Gubernativo No. 211-2005.

Se emite el reglamento de Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable de acuerdo al artículo 7 de la Ley Decreto 52-2003 que establece el mandato expreso de emitir el reglamento que permita la calificación y aplicación concreta de los incentivos relacionados.

- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. Decreto No. 68-86.

Tiene como finalidad la protección y mejoramiento del medio ambiente y los recursos naturales y culturales para el desarrollo social y económico de Guatemala.

1.7.1. Marco institucional

- **Ministerio de Energía y Minas (MEM).**

En el marco de lo establecido en la Ley del Organismo Ejecutivo, el Ministerio de Energía y Minas tiene asignadas las siguientes funciones generales:

- Estudiar y fomentar el uso de fuentes nuevas y renovables de energía; promover su aprovechamiento racional y estimular el desarrollo y aprovechamiento racional de energía en sus diferentes formas y tipos, procurando una política nacional que tienda a lograr la autosuficiencia energética del país.
- Coordinar las acciones necesarias para mantener un adecuado y eficiente suministro de petróleo, productos petroleros y gas natural, de acuerdo a la demanda del país, y conforme a la ley de la materia.
- Cumplir y hacer cumplir la legislación relacionada con el reconocimiento superficial, exploración, explotación, transporte y transformación de hidrocarburos, la compraventa o cualquier tipo de comercialización de petróleo crudo o reconstituido, gas natural y otros derivados, así como los derivados de los mismos.
- Formular la política, proponer la regulación respectiva y supervisar el sistema de exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos y minerales.
- Proponer y cumplir las normas ambientales en materia energética.
- Emitir opinión en el ámbito de su competencia sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- Ejercer las funciones normativas y de control y supervisión en materia de energía eléctrica que le asignen las leyes.”¹⁰

- **Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).**

¹⁰Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). <http://www.mem.gob.gt/>. Consulta: 3 de enero de 2015.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales es la entidad del sector público especializada en materia ambiental y de bienes y servicios naturales del Sector Público, al cual le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza y protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con el fin de lograr un desarrollo transgeneracional, articulando el quehacer institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria, equitativa, inclusiva y participativa.¹¹

- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

“Las funciones regulatorias y normativas son funciones de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el cual es un órgano técnico del MEM con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones. La CNEE además determina los precios y calidad de la prestación de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorizaciones y debe asegurar las condiciones de competencia en el Mercado Mayorista de Electricidad.”¹²

1.7.2. Generación de energía solar

Con base en la situación energética del país, se puede notar que el consumo no ha variado por mucho, debido a que la leña ocupa el primer lugar, seguido del diésel y gasolinas. La energía solar y otras fuentes ocupan porcentajes muy pequeños.

Guatemala hace uso de la tecnología fotovoltaica para la generación de energía solar. Si se desea ser beneficiario de una garantía de crédito es

¹¹ *Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)*. <http://www.mem.gob.gt/>. Consulta: 3 de enero de 2015.

¹² *Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)*. <http://www.ang.org.gt/sector-electrico-guatemalteco/>. Consulta: 3 de enero de 2015.

obligatorio ser generador de fuentes de energía renovable y tener una capacidad de hasta 10 MW de potencia.

Existen incentivos otorgados a entidades que fomentan la generación de proyectos de energía renovables los cuales son: la exención de derechos arancelarios para las importaciones incluyendo el impuesto al valor agregado (IVA), exención del impuesto sobre la renta (ISR) y exención del impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias (IETAP).

Para obtener los beneficios mencionados, el interesado debe cumplir con los requisitos que a continuación se mencionan, los cuales están normados en el Compendio de legislación ambiental de 2010.

- Dirigir la solicitud al Ministerio de Energía y Minas.
- La documentación general del proyecto donde se indique claramente el cronograma de realización del período de pre inversión, del período de construcción y del período de operación.
- Declaración que ha cumplido con lo consignado en la Ley General de Electricidad, en lo que sea aplicable.
- Listado total o parcial de los materiales, equipos y otros asociados a estos períodos, y el tipo del o los incentivos solicitados, especificando el período a que corresponden.

Si la solicitud es aprobada, el interesado debe presentar la certificación a la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) para que emita la resolución.

Cuando se desea implementar este tipo de tecnología es necesario cumplir con normas y procedimiento que a continuación se describen.

- Proceso correspondiente al cumplimiento de la normativa ambiental. Se debe contar con los siguientes requisitos:
 - Datos del peticionario (persona física o jurídica) y dirección para notificaciones.
 - Descripción y planos generales del proyecto.
 - Calendario y presupuesto de ejecución de obras.
 - Ubicación en mapa de área afectada.
 - Identificación de bienes públicos y privados a utilizar.
 - Incluir también dueños con que no exista acuerdo.
 - Aprobación de instrumento de evaluación ambiental.
 - Planes de seguridad, planes de exploración, desarrollo y explotación del recurso.

- Seguidamente realizar los siguientes pasos:
 - Solicitud ante el MEM de autorización temporal para la realización de los estudios.
 - Resolución de la solicitud de autorización temporal (60 días) y publicación en diarios.
 - Presentación al MEM de requisitos para autorización definitiva.
 - Publicación en diarios de las generalidades de la solicitud (contenidas en documento adjunto a la plica).
 - Resolución de la solicitud de autorización definitiva (90 días).
 - Suscripción del contrato de autorización.

- Al momento de aprobarse el proceso se obtiene:
 - Otorgamiento de autorización temporal que es un producto intermedio que servirá para desarrollar el proyecto.

- Suscripción del contrato de autorización el cual lo emiten por un plazo máximo de 50 años.
- Proceso de autorización para operar como generador distribuido renovable.
- Proporcionar la siguiente papelería:
 - Presentar el formulario para la solicitud de dictamen de capacidad y conexión a la distribuidora correspondiente.
 - Datos generales del solicitante.
 - Información general del proyecto.
 - Especificaciones técnicas del proyecto.
 - Acreditación del representante legal.
 - Ubicación cartográfica.
 - Diagrama unifilar.
 - Cronograma de ejecución.
 - Parámetros eléctricos de elementos del proyecto.
 - Copia de presentación del instrumento de evaluación ambiental al MARN.
- Seguidamente se debe continuar con los siguientes pasos:
 - Solicitud presentada ante el distribuidor.
 - El distribuidor puede requerir al solicitante la ampliación de información.
 - El distribuidor debe brindar al solicitante la información técnica relacionada con el posible punto de conexión.
 - Distribuidor debe evaluar la solicitud, emitir un dictamen definitivo y trasladar el expediente y el dictamen a la CNEE.

- La CNEE analizará el dictamen, podrá pedir información de ampliación al solicitante.
 - Previo a autorizar el dictamen, en el expediente deberá constar la aprobación del instrumento de evaluación ambiental.
 - La CNEE emitirá, si procede, la resolución de autorización para la conexión del solicitante a la red de distribución.
- De ser aprobado el proceso se obtiene:
 - El dictamen definitivo de capacidad de conexión emitido por el Distribuidor.
 - El dictamen deberá además estipular las modificaciones y ampliaciones del sistema de distribución cuyo costo deberá asumir el solicitante, debidamente justificadas.
 - Autorización emitida por la CNEE que permita:
 - La conexión física del solicitante en el punto de conexión.
 - La operación del solicitante como generador distribuido renovable en el sistema eléctrico nacional.

1.7.3. Distribución de la energía solar

Es de suma importancia que la generación de energía eléctrica sea lo más cercano al lugar de consumo, como se realizaba en los inicios de la industria eléctrica. Es por ello que hoy en día aunado a lo relevante de la cercanía, también se esperan mejoras y avances tecnológicos, lo cual en conjunto se conoce como generación dispersa o con mayor frecuencia generación distribuida.

En las mediaciones del marco legal la distribución de energía le corresponde a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, como bien se menciona en el siguiente artículo:

La reforma del Sector Eléctrico en Guatemala se inició con la emisión de su marco legal establecido en la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala) promulgada el 15 de noviembre de 1996). Posteriormente se emitieron el Reglamento de la Ley General de Electricidad (Acuerdo 256-97 del 2 de abril de 1997) y el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (AMM) (Acuerdo 299-98 del 1 de junio de 1998).

Los principios generales de la Ley General establecen la libertad de la instalación de centrales generadoras, las cuales no requieren de autorizaciones por parte del Estado, salvo las establecidas en la Constitución de la República y las leyes del país, incluyendo las referidas a medio ambiente, protección a las personas, a sus derechos y sus bienes. Asimismo, el uso de bienes del Estado requerirá la respectiva autorización del MEM cuando la potencia de la hidroeléctrica sea mayor de 5 megavatios.

El transporte y la distribución de electricidad son regulados y sujetos a autorización cuando utilizan bienes de dominio público. En relación a las tarifas de peaje son reguladas cuando no hay acuerdo entre las partes y las tarifas de distribución final están sujetos a regulación y son calculadas por la CNEE.

La Reforma redefinió y separó las funciones las funciones normativas, regulatorias, administrativas y empresariales del Subsector Eléctrico. El MEM es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes del Estado, programas indicativos relativos al Subsector Eléctrico y aplicar esta Ley y su Reglamento.

Las funciones regulatorias y normativas son funciones de la CNEE, el cual es un órgano técnico del MEM con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones. La CNEE además, determina los precios y calidad de la prestación de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorizaciones y debe asegurar las condiciones de competencia en el Mercado Mayorista de Electricidad.¹³

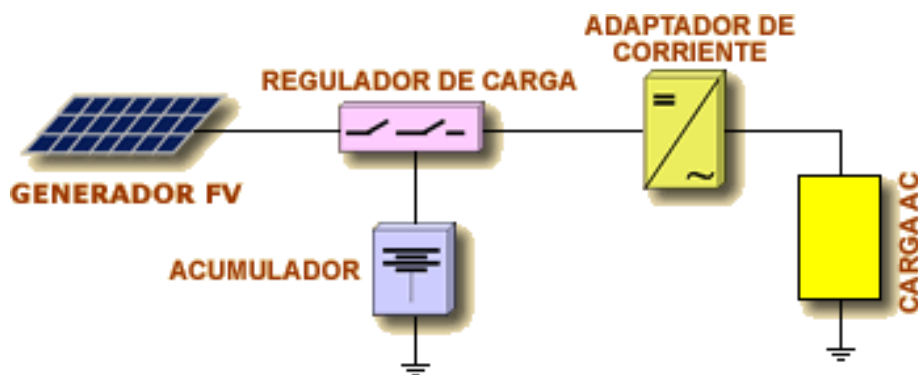
En cuanto a la distribución de energía solar por medio de sistemas fotovoltaicos, estos dependerán si son aislados o bien conectados a la red, según el potencial eléctrico.

- Sistema fotovoltaico aislado

¹³ Asociación Nacional de Generadores. <http://www.ang.org.gt/sector-electrico-guatemalteco/>. Consulta: abril de 2015.

- Un sistema fotovoltaico aislado dispone de los siguientes componentes:
 - Paneles solares o fotovoltaicos
 - Inversor o adaptador de corriente, que convierte la corriente directa a corriente alterna
 - Regulador de carga
 - Tablero de control
 - Elementos de protección y control
 - Acumulador
 - Elementos de conexión
 - Sistema de montaje

Figura 8. **Sistema fotovoltaico aislado**

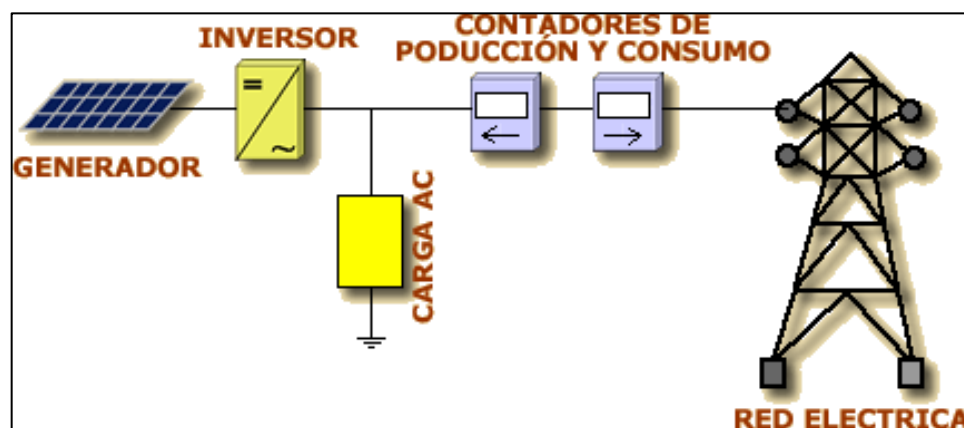


Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA). *Estudio para la instalación de un mega watt de energía fotovoltaica en el departamento de Jutiapa.* p. 38.

- Sistema fotovoltaico conectado a la red
 - Un sistema fotovoltaico conectado a la red dispone de los siguientes componentes:

- Paneles solares o fotovoltaicos
- Inversor o adaptador de corriente, que convierte la corriente directa a corriente alterna
- Tablero de control
- Elementos de protección y control
- Elementos de conexión
- Sistema de montaje

Figura 9. **Sistema fotovoltaico conectado a la red**



Fuente: Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA). *Estudio para la instalación de un megawatt de energía fotovoltaica, en el departamento de Jutiapa.* p.39.

2. DESARROLLO DEL SECTOR CIENTÍFICO TECNOLÓGICO

A continuación se describe el desarrollo del sector científico tecnológico con base en el potencial de energía solar, las capacidades científicas y tecnológicas, la colaboración a nivel nacional e internacional, la interacción de los sectores, el impacto en la matriz energética y la percepción pública.

2.1. Potencial de energía solar

Por su posición geográfica el sol representa para Guatemala un gran potencial de generación de energía solar. Muchos guatemaltecos no tienen acceso a energía eléctrica y el uso de esta energía renovable es una excelente opción para distribuirla a la población, además de que no causa efectos nocivos en el ambiente y por ende en las personas.

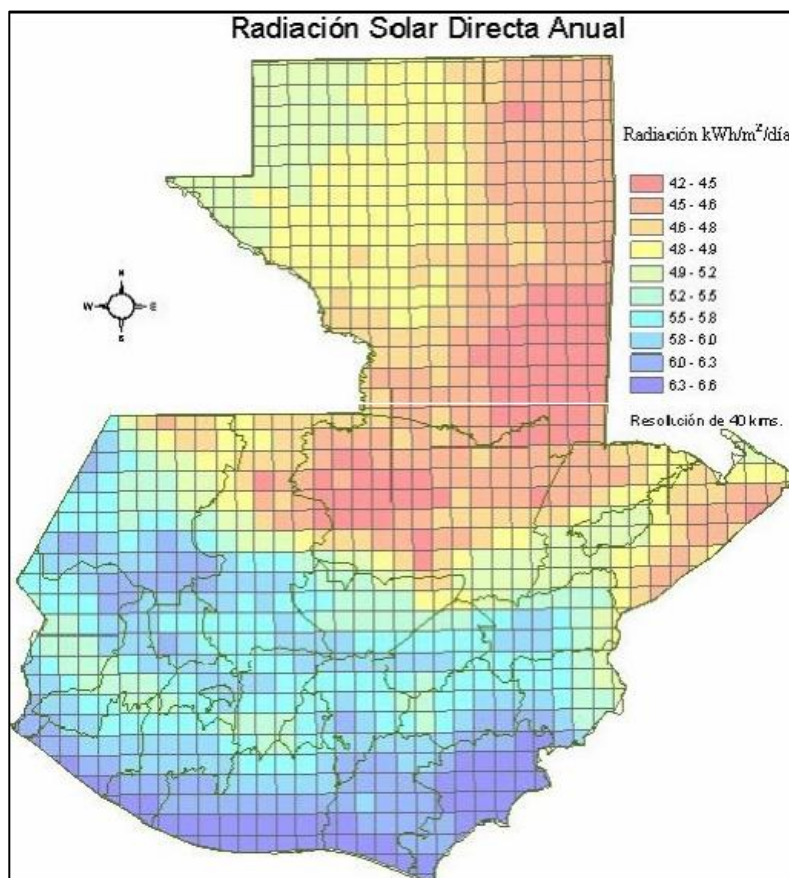
El uso del sol como fuente de energía tiene un potencial aún mayor por proporcionar varias veces el consumo de la energía utilizada en la actualidad. Según estadísticas el sol da cuatro mil veces más energía que la consumida en la Tierra. Además de generar electricidad también sirve para producir calefacción o refrigeración.

Otro de sus grandes potenciales son las tecnologías necesarias para su aplicación puesto que un sistema fotovoltaico no necesita de constante sol para funcionar, ya que también lo hace en días nublados por medio de la densidad de las nubes.

2.1.1. Disponibilidad del recurso natural

El sol es un recurso inagotable, por ende la energía solar presenta gran potencial para ser aplicada. Las radiaciones son la fuente que genera esta electricidad por medio de paneles solares, siendo Guatemala un país con gran disponibilidad del recurso natural (sol) por presentar solamente dos estaciones al año y por su clima cálido, esto debido a su posición en el mapa terráqueo.

Figura 10. **Radiación solar directa anual en kilovatios hora por metro cuadrado por día kWh/m²/día**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE).

2.1.2. Cálculo de potencial

Los factores que determinan la cantidad de energía eléctrica que genera un panel solar son: el clima, los módulos de los paneles y la radiación solar la cual depende de cómo estén inclinados los módulos respecto al sol.

Cuando se desea saber la radiación solar es importante tener en cuenta la irradiación y la irradiancia. Esta última es la potencia instantánea recibida sobre una superficie perpendicular al sol, la cual es una constante igual a 1 367 vatios sobre metro cuadrado (W/m^2). En el caso de la irradiación es la cantidad de energía solar que se recibe en un período de tiempo medida en (Wh/m^2).

La noche o día, el verano o invierno y la nubosidad son factores que pueden hacer variar la energía que se genera. Por ejemplo, cuando el sol está oculto tras las nubes, se presenta menos luz, he ahí la importancia de la correcta inclinación de los módulos fotovoltaicos.

Los árboles también pueden provocar sombra y esto a su vez limita el rendimiento del sistema energético.

2.2. Capacidades

La formación académica es la que indica tanto la capacidad científica como tecnológica del país. A continuación se realiza un breve análisis de las capacidades con las que cuenta el país en términos de energías renovables especialmente la energía solar.

2.2.1. Científicas

Debido a la importancia que las energías renovables han obtenido hoy en día se han desarrollado importantes y numerosas investigaciones especialmente en alumnos de educación superior. Guatemala cuenta con los medios para poder generar conocimiento en sus habitantes desde una edad muy temprana, sin embargo, no se invierte en educación y el índice de patentes de invención es muy bajo en comparación con otros países.

Si bien se tiene la capacidad científica, no se da el apoyo necesario para su desarrollo y se evidencia en el gasto nacional. En el período 1996-2004 el Estado asigna a Concyt Q 43 000 000,00 lo que por ley no le corresponde, pues el total debería de ser Q 120 000 000,00. No obstante, pese a no contar con el apoyo económico existen instituciones dedicadas a promover proyectos de desarrollo energético llevados a cabo con dinero propio, en un afán de contribuir con la eficiencia energética del país.

Dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala existen maestrías que promueven el adecuado desarrollo del medio ambiente entre ellas están:

- Diseño, planificación y manejo ambiental. Facultad de Arquitectura.
- Desarrollo rural. Facultad de Agronomía.
- Economía ambiental y de los recursos naturales. Facultad de Ciencias Económicas.
- Ingeniería sanitaria. Facultad de Ingeniería.
- Gestión integrada de recursos hídricos. Facultad de Ingeniería.
- Energía y ambiente. Facultad de Ingeniería.
- Administración de tierras para el desarrollo sostenible. Centro Universitario del Norte.

Cabe señalar que la Facultad de Ingeniería cuenta con un doctorado en Cambio Climático.

Otras de las universidades que cuenta con maestrías que contribuyen al medio ambiente es la Universidad Rafael Landívar, dentro de sus maestrías están:

- Maestría en Gerencia de los Recursos Naturales y de la Producción Sostenible. Facultad de Ambientales y Agrícola.
- Maestría en Diseño y Construcción Ecológicos. Facultad de Arquitectura y Diseño.

2.2.2. Tecnológicas

Guatemala no cuenta con estaciones suficientes para medir la radiación solar y los aparatos de los que hace uso están en mal estado o bien son obsoletos. Esto no solo ocurre con la generación de energía solar sino también con otras como la eólica, la cual tampoco cuenta con estaciones que midan el potencial de los vientos. Ante dichas situaciones se han recurrido a procedimientos empíricos o bien a información de las temperaturas para dar un estimado del grado de calor que existe en determinado lugar.

Existe un programa llamado METEONORM el cual es un software de paga, utilizado en aplicaciones de energía solar, el cual genera datos sobre la radiación, temperatura, humedad, precipitación y dirección de los vientos, siendo un medio de ayuda para próximos proyectos.

2.3. Comunicación y colaboración

Instituciones a nivel nacional e internacional se han interesado en el desarrollo de proyectos energéticos que ayuden a la población en su mejoramiento de calidad de vida.

2.3.1. A nivel nacional

Instituciones como el MEM, MARN, MAGA y CNEE colaboran en la implementación de energías renovables a lo largo del país. Bajo un marco legal el MEM está obligado a velar porque Guatemala especialmente en las zonas rurales se cuente con electricidad bajo los recursos totales o parciales que le brinde el Estado.

Las exenciones de las que gozan quienes generan energías renovables son entregadas por 10 años a partir de la aprobación del proyecto, después de concluida la fecha el MEM, MARN y CNEE serán los encargados de fomentar la continuidad de dichos proyectos.

2.3.2. A nivel internacional

Existen países que se interesan por ayudar a países subdesarrollados como Guatemala, debido a que cuentan con las capacidades científicas, tecnológicas y económicas para implementar proyectos de desarrollo energético.

Entre las empresas que se han interesado en dar apoyo están:

- Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA): financió un proyecto de promoción de actividades productivas con el uso de energía limpia.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID): apoyó económicamente el programa de apoyo a la gestión ambiental y social para el fomento a la participación privada en el desarrollo de las fuentes renovables de energía en Guatemala.
- Comisión Económica para América Latina (Cepal), Proyecto CEPAL/Cooperación Alemana GTZ: consumo eficiente de leña en América Central.
- Gran Solar (España): proyecto impulsado en Guatemala de energía solar.
- Fondo de Inversiones de Suiza Ecosolar.
- Grupo Ortiz España: parque solar en Guatemala.

Las empresas anteriormente mencionadas se han comprometido con el país debido a que ven el potencial de recursos con el que Guatemala cuenta. La descripción más detallada de los proyectos realizados se realiza en el capítulo 3 de este documento.

2.4. Interacción de sectores

Distintas entidades han observado la gran importancia de colaborar con el medio ambiente a través del uso de energías renovables o bien por medio de concientización resultado de campañas y reutilización de productos, así como el desarrollo de cursos, licenciaturas, maestrías o doctorados que impacten en el cuidado del planeta y por ende sea un recurso que disminuya la variación climática.

2.4.1. Productivo

El sector productivo guatemalteco se ve en la necesidad de hacer uso de energías renovables para reducir costos de electricidad que representan algunas veces hasta el 40 % o más de los costos de las empresas. Asimismo, tienen un compromiso ante la sociedad de contribuir con el medio ambiente.

En la actualidad la industria hotelera ha visto la importancia de hacer uso de fuentes de energía renovable para disminuir los costos mensuales de electricidad. Ana Mercedes de Lemke presidenta de la Asociación de Pequeños Hoteles de Guatemala (Asopehgua) planea el uso de energía solar para los calentadores de agua (térmica) y generación de electricidad (fotovoltaica).

El ingenio azucarero de Guatemala representa un gran aliado en el uso de energías renovables, pues obtiene 326 MW por el uso de estas energías derivado de la cogeneración del bagazo que es la fibra excedente de la caña de azúcar.

La caña de azúcar tiene una alta capacidad fotosintética, ya que asimila en mayor cantidad el dióxido de carbono por las sendas bioquímicas, lo que aumenta su producción por la elevada cantidad de luz solar que recibe, lo que ayuda a almacenar mayor sacarosa, produciendo 1,7 gramos de biomasa por cada Mega Joule que obtiene de radiación.

Asimismo, empresas como Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y Energuate firman convenios de suministros de energía. Según la página web de todanoticia, EEGSA firmó contratos por 328 megavatios, de los cuales 132 megavatios son de generación hidráulica, 8 megavatios de biomasa, 10 megavatios de bunker.

2.4.2. Universidades

Las universidades juegan un papel muy importante por ser fuente de conocimiento, razón que las ha llevado a investigar sobre energías renovables como alternativas al cambio climático y como un medio de generación de electricidad especialmente en áreas rurales.

La Universidad de San Carlos de Guatemala promueve el desarrollo del medio ambiente, motivo que la ha llevado a que estudiantes desarrollen tesis de licenciatura, maestrías o doctorados sobre la factibilidad de un proyecto de energía renovable o bien realicen un estudio del área y su potencial. Las finalidades de estas investigaciones son lanzar un proyecto de eficiencia energética a instituciones que cuenten con los recursos económicos.

Bajo el concepto de Generación Distribuida Renovable (GDR), la Universidad del Valle de Guatemala impulsa el uso de la energía solar en un proyecto piloto, a raíz del convenio con CNEE y BID con el objetivo de incentivar la eficiencia energética.

2.4.3. Escuelas y colegios

- Escuelas

Existen una minoría de escuelas que cuentan con energía solar, una de ellas está ubicada en la aldea San Juan Cotzal en Quiché, esto con ayuda de la empresa Green Power de Guatemala, la República de la India, Barefoot College y la Asociación para el Desarrollo RijatzulQ'ij (semilla de sol).

La Escuela Ecológica San José ubicada en Petén también ha puesto en marcha el uso de fuentes naturales en unión con la Universidad Rural de Guatemala.

- Colegios

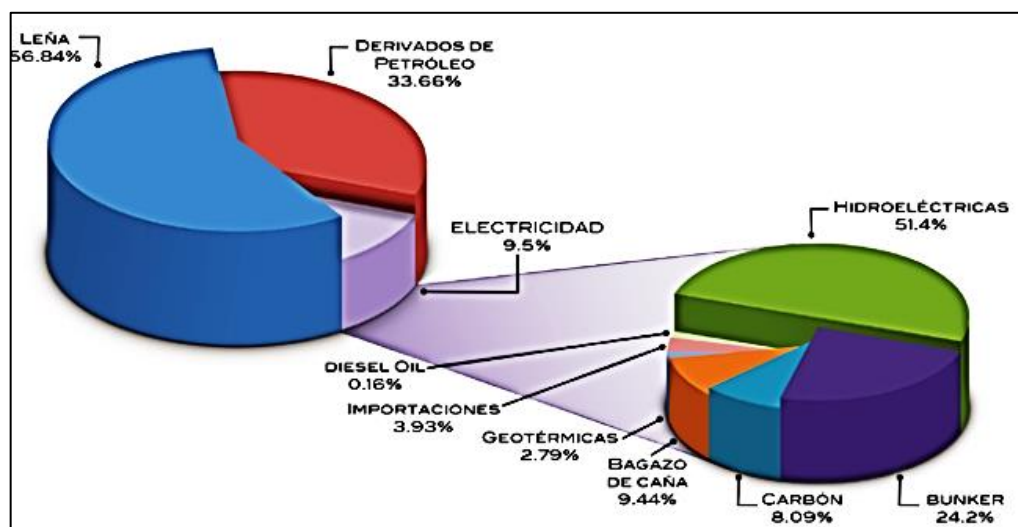
El colegio Evelyn Rogers es el pionero en utilizar la energía solar dentro de su establecimiento, el cual funcionará por completo con energía solar fotovoltaica y estará conectado a una red de 85,5 kilowatts de capacidad, catalogada como la más grande a nivel nacional. Para lograr este proyecto han hecho una alianza con Panasonic y Tiendas Max con el fin de garantizar una buena calidad en su producto además de tecnología avanzada.

2.5. Impacto en la matriz energética

Guatemala es un país que no cuenta con combustible fósil (carbón), por ende está sujeto a las importaciones y a la variabilidad de precios. El objetivo que se tiene es entonces generar electricidad con los recursos que se disponen en grandes cantidades.

La siguiente gráfica expone el consumo energético nacional para el 2012.

Figura 11. **Consumo energético nacional**



Fuente: Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas.

Estadísticas energéticas. p. 20.

En la gráfica anterior se observa que las hidroeléctricas ya ocupaban un gran porcentaje, no obstante el uso de otro tipo de energías es mínimo o inexistente.

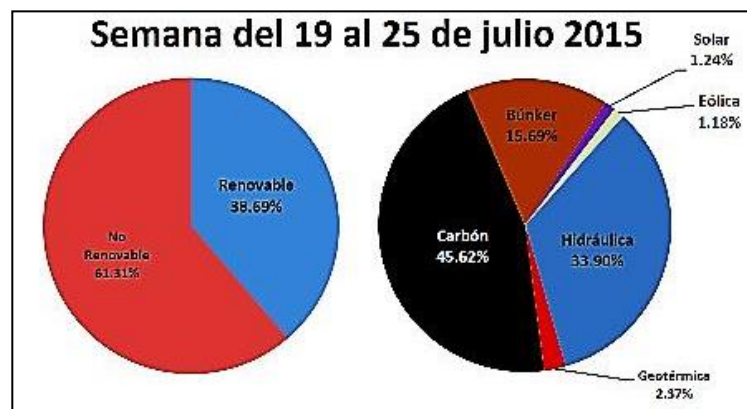
A partir de 2005, Guatemala en alianza con otras empresas ha desarrollado proyectos hidroeléctricos, sin embargo, la matriz se muestra desequilibrada sino se diversifica a otras energías renovables más aún cuando se está expuesta a fenómenos climáticos como EL Niño y La Niña.

El presidente de Ibero y Latinoamérica de Enel Green Power menciona el que Guatemala posee recursos para producir energía geotérmica, la cual se desarrolla en el Cinturón de Fuego que empieza desde Costa de California, pasa por México y luego llega a Centroamérica. Con uso de este la geotermia podría generar 8 760 horas de electricidad si se desarrolla en un 100 %. De

igual forma la energía fotovoltaica puede ser una excelente opción por la ubicación de Guatemala, la cual en condiciones favorables puede funcionar hasta 2 000 horas.

En la figura 12 se observa la matriz energética del 2015, en las semanas del 19 al 25 de julio. Nótese que cada vez empiezan a tomar mayor importancia las hidroeléctricas.

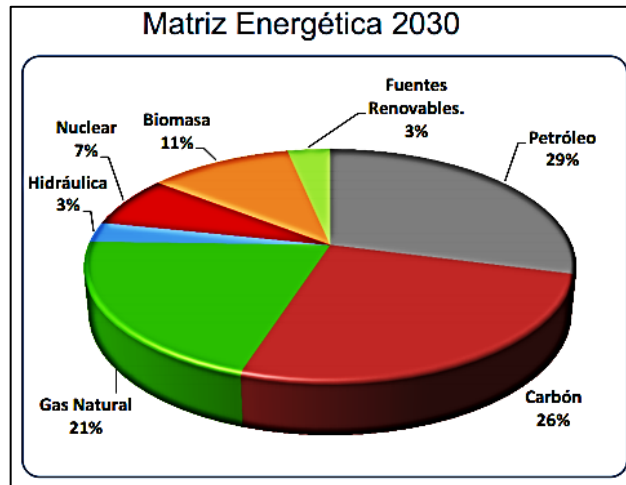
Figura 12. **Matriz energética 2015 de Guatemala**



Fuente: *Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)*. p. 36.

Se espera que para el 2017, la matriz energética crezca en un 52 % con base en la generación de hidroeléctricas, energía solar y eólica. Se estima que las hidroeléctricas pasarán a adquirir un 41,3 %, la solar 2,3 % y la eólica 2,6 % de la matriz. Mundialmente se esperaría que la matriz energética aumente especialmente por medio de fuentes de recursos naturales. El Ministerio de Energía y Minas proyecta la matriz energética para el 2030 (figura 15).

Figura 13. **Matriz energética 2030**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Política energética 2013-2027*. p. 27.

Se observa que la matriz se basa en el gas natural, carbón y petróleo como fuentes de generación eléctrica y en comparación con Guatemala las hidroeléctricas disminuyen su participación.

Guatemala adquiere como una de sus metas cambiar la matriz energética con el fin de reducir la emisión de gases efecto invernadero, de la cual Centroamérica es responsable tan solo del 0,5 %. Sin embargo, Guatemala y Honduras son los mayores responsables con un 76 % debido a la quema de leña (figura 13) y factores climáticos.

La matriz que se espera diseñar deberá atender el impacto social y ambiental y facilitar el acceso a energía a las áreas rurales, siendo estas unas de sus principales pruebas y así disminuir el consumo de leña que incentiva la contaminación y el auge de enfermedades respiratorias.

2.6. Educación y percepción pública

Como una de las obligaciones del gobierno está brindar acceso a electricidad a todos los habitantes, con un enfoque primordial a la población del área rural. La energía que predomina en la actualidad, causa rechazo por parte de la población debido al impacto negativo que provoca en el ambiente, salud y bienestar de los habitantes. El inminente subdesarrollo del país lo hace más vulnerable a estas consecuencias. Hoy en día se ha dado gran importancia al uso de energías renovables como una alternativa que no solo brinda acceso a la electricidad, sino que no contribuye con la contaminación ni causa daños a los cultivos que son característicos de Guatemala por su potencial agrícola.

El factor económico es uno de los mayores obstáculos que se presentan para implementar tecnologías eléctricas, puesto que ni el Gobierno ni habitantes tienen las posibilidades. Es por ello que instituciones nacionales e internacionales se han involucrado en la realización de proyectos, lo que los guatemaltecos ven como una solución a muchos problemas. La falta de educación de áreas rurales aumenta la desinformación sobre el uso de energías alternativas. Estos mismos factores educativos y a veces culturales pueden frenar la implementación de proyectos pues solo ven en ellos beneficios inmediatos y no frutos a futuro que si bien sean lentos, garanticen una mejor calidad de vida.

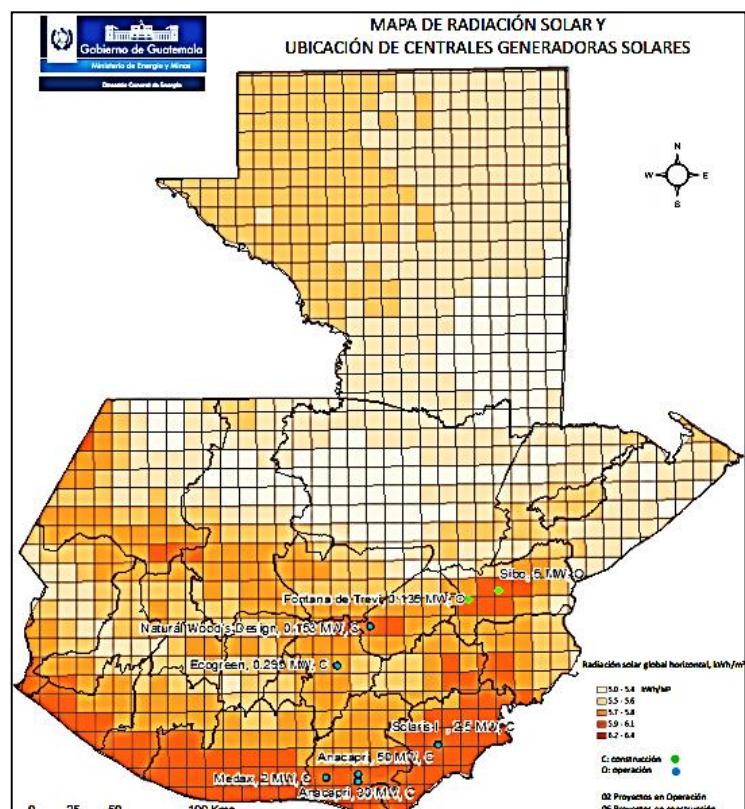
Debido a la misma precariedad y limitaciones antes mencionadas, la población ha adquirido una nueva mentalidad, ajustándose a los cambios y tecnologías nuevas, un ejemplo de ello es Quiché que se ha visto beneficiado por la aplicación de tecnologías y se han comprometido con aportar una mínima cantidad mensual que se les pide, además de velar por el cuidado y mantenimiento de los aparatos.

3. DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO DE ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO

3.1. Perspectiva del crecimiento de energía solar

A continuación se muestran las centrales solares encontradas en el país, ubicadas específicamente en Zacapa, Jutiapa, Santa Rosa, El Progreso y en la capital, de acuerdo al potencial que cada una de ellas posee.

Figura 14. Mapa de centrales generadoras solares



Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

3.1.1. Proyectos realizados

A continuación se detallarán los proyectos realizados, en desarrollo y los que están en proceso de gestión en el área del Corredor Seco, llevados a cabo por entidades públicas y privadas. Cabe mencionar que aún no se cuenta con un número elevado de proyectos de energía solar, debido a diversos factores como la escases de estudios de zonas con potencial y especialmente la falta de recursos económicos.

3.1.1.1. Gobierno

Los proyectos que llevan a cabo no tienen carácter de inversión gubernamental. Sin embargo, tienen un lugar de carácter legal que les corresponde, especialmente a entidades como el Ministerio de Energía y Minas, quienes velan por la distribución y generación de energía y son quienes establecen las leyes a cumplir en cualquier tipo de proyecto energético.

La mayoría de los proyectos que se han desarrollado son producto de inversiones extranjeras que ven el potencial solar con que cuenta Guatemala. Es por ello que los proyectos que se han realizado y están en funcionamiento, se desglosan en el ítem del sector privado.

3.1.1.2. Sector privado

Anteriormente, se mencionó que el Gobierno no es el inversionista principal en la realización de proyectos de energía limpia. Por ello, es importante dar a conocer los proyectos que el sector privado ha desarrollado en el país, sus características e impactos generados.

- Fontana de Trevi

“Proyecto de instalación de energía solar fotovoltaica, de 119 kWh en las cubiertas de la bodega Fontana de Trevi, S. A., en el municipio de Usumatlán en Zacapa”.¹⁴

Por sus características geográficas, Zacapa representa uno de los lugares más convenientes para la instalación de fuentes energéticas solares, especialmente por pertenecer a la zona semiárida del país (Corredor Seco) que por ende provoca un subdesarrollo de la población, pero que con el uso de fuentes renovables encuentran una alternativa de mitigación ante los problemas.

- SILBO

Con una generación de 5 megavatios, la empresa guatemalteca Grupo Green, el fondo de inversores suizo Ecosolar y la empresa española Gran Solar se unen para crear una planta de energía solar en el municipio de Estanzuela, del departamento de Zacapa, debido a la topografía y temperatura del lugar que oscila en más de 30 °C, lo que hace del lugar el indicado para uso de energías renovables.

El costo total fue de \$ 14 000 000,00 de dólares y se estima que beneficiará a 24 000 familias, especialmente a las que padecen las grandes problemáticas de sequías y pobreza.

Por el costo, potencia, extensión de casi 14 hectáreas de terreno e instalación de 20 320 paneles y 15 motores generadores de energía, hace de este proyecto el más importante a nivel centroamericano.

¹⁴ Ministerio de Energía y Minas.

- Horus Energy Grupo Onyx

Grupo Onyx creó el proyecto Horus Energy, el cual es la planta de energía solar más grande a nivel centroamericano y la segunda de Latinoamérica, con una capacidad de 58 megavatios, ubicada en una región de 175 hectáreas en Chiquimulilla Santa Rosa, para la cual fueron necesarios instalaran 18 360 módulos solares.

Cabe señalar que el lugar donde fueron instalados los módulos solares, anteriormente era una ganadería lo que no implica el deterioro de fauna y flora. Asimismo, no se dañaron los suelos, debido a las instalaciones metálicas y no de concreto como suele ocurrir en otro tipo de proyectos de energía solar.

La generación anual de Horus Energy, es de 115 giga vatios hora, lo que representa un 1,25 % de la energía que se produce en el país. Su desarrollo requirió de una inversión de US\$ 100 000 000,00, dinero aportado por Grupo Ortiz. Asimismo, fue necesario 600 000 horas hombre para su construcción.

Para la generación de la energía se llegó a un acuerdo con la Empresa Eléctrica de Guatemala, el cual consta de un contrato de compraventa de 15 años en el cual se estipula que la energía que producirá esta nueva planta será entregada en el sistema de transmisión, en la línea de 138 kilovatios, propiedad del INDE.

La puesta en marcha de un proyecto de esta magnitud permite diversificar la matriz energética, así como un desarrollo a la población que no le es posible mantener una estabilidad laboral y económica.

- Sistema de bombeo solar PSk-CS

Existe un proyecto basado en un sistema de bombeo solar, localizado en Baja Verapaz en el municipio de San Jerónimo, la bomba solar tiene una potencia de 15 caballos de fuerza, con una capacidad de bombeo de 180 metros cúbicos al día, el campo solar está compuesto por 42 paneles solares de 255 watts haciendo un total de 10,7 KWp, el retorno de la inversión es de 2 años, (utilizando bombas marca Lorentz. Instalado en mayo de 2015 por Guatemala Solar).

3.1.2. Proyectos en desarrollo

Diversos proyectos aún no están en funcionamiento, sin embargo, se encuentran en etapa de desarrollo, lo que indica que la energía solar está en continuo crecimiento y hay entidades que se interesan por llevarla a cabo en el país.

3.1.2.1. Gobierno

El gobierno se ha unido con las entidades privadas para dar el apoyo necesario en cuanto a aspectos legales y mano de obra en algunos casos. No obstante los proyectos en desarrollo están a cargo de empresas inversionistas, que desean contribuir con la matriz energética.

3.1.2.2. Sector privado

- Solaris I 2,5 MW

Proyecto llevado a cabo por la Empresa Generadora de Energía Limpia, S. A. empezando a construirse diciembre de 2014, en el municipio de

Jutiapa en el departamento de Jutiapa. Se estima que tendrá una capacidad instalada de 2,5 megavatios.

- **Horus II**

Esta planta solar fotovoltaica a cargo de la empresa Anacapri S. A. estará ubicada en la aldea de Chiquimulilla, con una potencia de 30 megavatios, la cual contará con 19 centros de inversión de 1,5 megavatios. Estará instalada en un área de 250 hectáreas con un seguidor solar a un eje este-oeste, estimando una vida útil de 25 años.

- **Medax solar FV 2,0 MW**

Proyecto a cargo de la empresa Medax Energy, ubicado en el municipio de Taxisco en el departamento de Santa Rosa, con una capacidad instalada de 2 MW, en una hectárea que no daña el medio ambiente y protege los suelos de la región.

Con este proyecto no solo se diversifica aún más la matriz energética, sino también el departamento de Santa Rosa se convierte en el principal ente de generación de energía solar en el país.

3.1.3. Proyectos en gestión

Si bien existen proyectos en funcionamiento y otros en etapa de desarrollo, existen otros que están en fase de gestionamiento, es decir presentan posibilidades de ser llevados a cabo. No obstante en términos de energía solar aún no se tienen proyectos en gestión, sin embargo, si los hay para otras energías limpias.

3.1.3.1. Gobierno

Actualmente no existen proyectos de energía solar que se estén llevando a cabo, sin embargo, existen otras energías renovables que se pretenden poner en marcha con ayuda de entidades privadas.

3.1.3.2. Sector privado

Se desglosan los proyectos en gestión o en vías de gestionarse, si bien no se planea realizarlos con energía solar se presentan por su gran importancia e impacto en el Corredor Seco.

Tabla XIII. **Proyectos en gestión en el Corredor Seco utilizando energías renovables**

Núm.	NOMBRE	Potencia (MW)	Fecha estimada de entrada en operación	Combustible	Tecnología
1	HIDRO-BAJV I	32	2018	Agua	Hidroeléctrica
2	HIDRO-BAJV II	78	2024	Agua	Hidroeléctrica
3	HIDRO-CHIQ I	59	2023	Agua	Hidroeléctrica
4	HIDRO-CHIQ II	57	2014	Agua	Hidroeléctrica
5	HIDRO-CHIQ III	27	2020	Agua	Hidroeléctrica
6	HIDRO-CHIQ IV	120	2017	Agua	Hidroeléctrica
7	HIDRO-PROG I	93	2023	Agua	Hidroeléctrica
8	HIDRO-QUIC I	41	2016	Agua	Hidroeléctrica
9	HIDRO-QUIC II	90	2016	Agua	Hidroeléctrica
10	HIDRO-QUIC III	43	2018	Agua	Hidroeléctrica
11	HIDRO-QUIC IV	57	2014	Agua	Hidroeléctrica
12	HIDRO-QUIC V	36	2020	Agua	Hidroeléctrica
13	HIDRO-QUIC VI	140	2017	Agua	Hidroeléctrica
14	HIDRO-QUIC VII	90	2015	Agua	Hidroeléctrica
15	HIDRO-ZACP I	32	2015	Agua	Hidroeléctrica

Fuente: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (Intecap). *Estudio de prospección tecnológica de electricidad industrial*. p. 46.

4. ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO DE GUATEMALA

4.1. Radiación solar en el Corredor Seco

Por medio de la figura 10, se distingue la alta radiación solar de Guatemala, por ende sus altas temperaturas y la inevitable sequía que invade los departamentos del Corredor Seco, lo que da lugar al uso del sol para fuentes de energía.

Anteriormente, se mencionó que Guatemala no cuenta con herramientas tecnológicas para medir el potencial de radiación, por lo que fue necesario el uso de una plataforma denominada Evaluación de los Recursos de Energía Solar y Eólica SWERA por sus siglas en inglés (Solar and Wind Energy Resource Assessment), la cual es una iniciativa que brinda datos y herramientas de análisis tanto de energía solar como de energía eólica, por parte de un número de organizaciones internacionales en un ambiente dinámico orientado al usuario. La información y los datos que la plataforma provee son gratis y accesibles al público interesado. Tienen la finalidad de dar soporte al trabajo de planificadores de proyectos, analistas de recursos, inversores y cualquier persona deseosa de conocer los recursos de energía renovable con los que cuenta una región.

El grupo técnico de SWERA usa datos recolectados por satélites geoestacionarios como principal entrada en los modelos. El canal visible desde los satélites geoestacionarios provee información acerca de la reflexión del sistema de la atmósfera de la Tierra, mientras que el canal infrarrojo provee

información de la temperatura de la superficie y de la atmósfera, la cual suministra la información necesaria para determinar la extensión de la cobertura de las nubes. Esto quiere decir que utilizando datos provenientes de satélites geoestacionarios e información propia del terreno (cualquier fenómeno que incida en los rayos solares), se calcula la radiación promedio en una determinada región y esta tiene como dimensionales kilovatios hora por metro cuadrado por día ($\text{KWh/m}^2/\text{día}$).

En este caso se utiliza la radiación promedio en cada celda con resolución de 10 por 10 kilómetros y se calcula un promedio de todas las celdas para estimar la región del Corredor Seco más apta para realizar proyectos de energía solar.

Se utilizó una *suite* de herramientas geoespaciales (Geospatial Toolkits) “SWERA_GST” para Guatemala, la cual es una aplicación de software libre basada en mapas, que corre en el sistema operativo Microsoft Windows. Cada GsT o Geospatial Toolkits por sus siglas en inglés es específico a un país o provincia e integra datos de los recursos renovables e información geográfica de esa región (lagos, montañas, ríos, bosques, entre otros). Posterior a instalar el GsT los usuarios podrán observar mapas conteniendo datos geográficos y de radiación o viento, para identificar las posibles regiones en donde pueda ser aplicado algún proyecto de energía renovable.

Tabla XIV. **Potencia anual promedio en los municipios de Quiché**

QUICHÉ			
ZACUALPA		SAN ANTONIO ILOTENANGO	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,47	Celda 1	5,496
Celda 2	5,417	Celda 2	5,33
Celda 3	5,367	Celda 3	5,295
Celda 4	5,444	Celda 4	5,198
PROMEDIO ANUAL	5,412	PROMEDIO ANUAL	5,32975
SAN PEDRO JOCOPILAS		JOYABAJ	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,683	Celda 1	5,367
Celda 2	5,555	Celda 2	5,415
Celda 3	5,389	Celda 3	5,355
Celda 4	5,675	Celda 4	5,347
Celda 5	5,48	Celda 5	5,454
Celda 6	5,469	Celda 6	5,238
Celda 7	5,456	Celda 7	5,518
Celda 8	5,496	Celda 8	5,494
PROMEDIO ANUAL	5,525375	Celda 9	5,258
SAN ANDRÉS SAJCAJAJÁ		PROMEDIO ANUAL	5,3828
	ANNGLO (KWH/M²)		
Celda 1	5,252		
Celda 2	5,594		
Celda 3	5,49		
Celda 4	5,296		
Celda 5	5,469		
PROMEDIO ANUAL	5,4202		
USPANTÁN		SAN BARTOLOMÉ JOCOTENANGO	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	4,812	Celda 1	5,555
Celda 2	4,766	Celda 2	5,456
Celda 3	4,885	Celda 3	5,389
Celda 4	4,893	Celda 4	5,49
Celda 5	4,749	Celda 5	5,594
Celda 6	4,8	Celda 6	5,469
Celda 7	4,85	PROMEDIO ANUAL	5,49216
Celda 8	4,718	CANILLÁ	
Celda 9	4,765		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 10	4,68	Celda 1	5,555
Celda 11	4,961	Celda 2	5,594
Celda 12	4,906	Celda 3	5,469
Celda 13	5,252	Celda 4	5,444
Celda 14	5,288	PROMEDIO ANUAL	5,5155
Celda 15	5,421	CHICAMÁN	
Celda 16	5,181		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 17	5,555	Celda 1	4,718
PROMEDIO ANUAL	4,9695	Celda 2	4,68
SACAPULAS		Celda 3	4,906
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 4	4,837
Celda 1	5,683	Celda 5	4,961
Celda 2	5,675	Celda 6	4,8
Celda 3	5,555	Celda 7	5,288
Celda 4	5,393	Celda 8	5,252
Celda 5	5,252	Celda 9	5,181
Celda 6	5,49	Celda 10	5,051
Celda 7	5,594	Celda 11	5,339
PROMEDIO ANUAL	5,520285	Celda 12	5,277
		Celda 13	5,17
		Celda 14	4,96
		PROMEDIO ANUAL	5,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Radiación anual promedio en los municipios de Baja Verapaz

BAJA VERAPAZ			
SALAMÁ		SAN MIGUEL CHICAJ	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,214	Celda 1	5,17
Celda 2	5,445	Celda 2	5,094
Celda 3	5,614	Celda 3	5,274
Celda 4	5,638	Celda 4	5,22
Celda 5	5,46	Celda 5	5,214
Celda 6	5,219	Celda 6	5,219
Celda 7	5,223	Celda 7	5,445
Celda 8	5,54	PROMEDIO ANUAL	5,23371
Celda 9	5,22	CUBULCO	
Celda 10	5,131		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 11	5,094	Celda 1	5,181
Celda 12	4,996	Celda 2	5,339
Celda 13	4,813	Celda 3	5,421
Celda 14	4,891	Celda 4	5,367
Celda 15	4,823	Celda 5	5,555
PROMEDIO ANUAL	5,2214	Celda 6	5,444
RABINAL		Celda 7	5,355
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 8	5,393
Celda 1	5,277	Celda 9	5,258
Celda 2	5,17	Celda 10	5,494
Celda 3	5,274	Celda 11	5,176
Celda 4	5,349	Celda 12	5,349
Celda 5	5,214	Celda 13	5,277
Celda 6	5,176	PROMEDIO ANUAL	5,354538
PROMEDIO ANUAL	5,2433	SAN JERÓNIMO	
GRANADOS			ANNGLO (KWH/M²)
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,494	Celda 1	5,54
Celda 2	5,442	Celda 2	5,223
Celda 3	5,176	Celda 3	5,17
Celda 4	5,53	Celda 4	5,118
Celda 5	5,587	Celda 5	5,131
PROMEDIO ANUAL	5,4458	Celda 6	4,891
EL CHOL		Celda 7	4,823
	ANNGLO (KWH/M²)	PROMEDIO ANUAL	5,129
Celda 1	5,442		
Celda 2	5,176		
Celda 3	5,214		
Celda 4	5,445		
Celda 5	5,614		
PROMEDIO ANUAL	5,3782		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. Radiación anual promedio en los municipios de El Progreso

EL PROGRESO			
GUASTATOYA		MORAZÁN	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,66	Celda 1	5,46
Celda 2	5,531	Celda 2	5,638
Celda 3	5,514	Celda 3	5,63
Celda 4	5,548	Celda 4	5,54
Celda 5	5,479	Celda 5	5,514
Celda 6	5,365	Celda 6	5,531
PROMEDIO ANUAL	5,51616	Celda 7	5,66
SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN		Celda 8	5,177
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 9	5,118
Celda 1	4,823	Celda 10	4,823
Celda 2	4,919	PROMEDIO ANUAL	5,4091
Celda 3	4,968	SAN CRISTOBAL ACASAGUASTLÁN	
Celda 4	5,118		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 5	5,213	Celda 1	5,333
Celda 6	5,333	Celda 2	5,213
Celda 7	5,594	Celda 3	5,437
Celda 8	5,514	Celda 4	5,594
Celda 9	5,548	Celda 5	5,587
Celda 10	5,479	PROMEDIO ANUAL	5,4328
PROMEDIO ANUAL	5,2509		
EL JÍCARO		SANSARE	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,548	Celda 1	5,341
Celda 2	5,479	Celda 2	5,365
Celda 3	5,594	Celda 3	5,66
Celda 4	5,587	Celda 4	5,548
Celda 5	5,464	PROMEDIO ANUAL	5,4785
PROMEDIO ANUAL	5,5344	SAN ANTONIO LA PAZ	
SANARATE			ANNGLO (KWH/M²)
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 1	5,638
Celda 1	5,638	Celda 2	5,63
Celda 2	5,63	Celda 3	5,39
Celda 3	5,66	Celda 4	5,337
Celda 4	5,337	Celda 5	5,163
Celda 5	5,341	PROMEDIO ANUAL	5,4316
Celda 6	5,163		
Celda 7	5,174		
PROMEDIO ANUAL	5,420428		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Radiación anual promedio en los municipios de Zacapa

ZACAPA			
ZACAPA		ESTANZUELA	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,665	Celda 1	5,665
Celda 2	5,503	Celda 2	5,604
Celda 3	5,568	Celda 3	5,691
Celda 4	5,691	Celda 4	5,717
Celda 5	5,717	PROMEDIO ANUAL	5,66925
Celda 6	5,671	GUALÁN	
Celda 7	5,487		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 8	5,43	Celda 1	5,397
Celda 9	5,268	Celda 2	5,426
Celda 10	5,461	Celda 3	4,963
PROMEDIO ANUAL	5,5468	Celda 4	5,138
RÍO HONDO		Celda 5	5,671
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 6	5,461
Celda 1	5,057	Celda 7	5,21
Celda 2	5,437	Celda 8	5,315
Celda 3	5,103	Celda 9	4,964
Celda 4	5,265	Celda 10	5,193
Celda 5	5,604	Celda 11	5,075
Celda 6	5,665	Celda 12	5,098
Celda 7	5,717	PROMEDIO ANUAL	5,242583
Celda 8	5,671		
Celda 9	5,397		
PROMEDIO ANUAL	5,4351		
TECULUTÁN		USUMATLÁN	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	4,968	Celda 1	5,333
Celda 2	5,3335	Celda 2	5,437
Celda 3	5,057	Celda 3	5,587
Celda 4	5,437	Celda 4	5,707
Celda 5	5,707	PROMEDIO ANUAL	5,516
Celda 6	5,665	SAN DIEGO	
PROMEDIO ANUAL	5,361166		ANNGLO (KWH/M²)
CABAÑAS		Celda 1	5,464
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 2	5,459
Celda 1	5,464	Celda 3	5,49
Celda 2	5,587	Celda 4	5,551
Celda 3	5,707	PROMEDIO ANUAL	5,491
Celda 4	5,5551	HUITÉ	
Celda 5	5,503		ANNGLO (KWH/M²)
PROMEDIO ANUAL	5,5624	Celda 1	5,707
		Celda 2	5,665
		Celda 3	5,503
		Celda 4	5,551
		PROMEDIO ANUAL	5,6065

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Radiación anual promedio en los municipios de Jalapa

JALAPA			
JALAPA		SAN LUIS JILOTEPQUE	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,174	Celda 1	5,49
Celda 2	5,341	Celda 2	5,481
Celda 3	5,163	Celda 3	5,588
Celda 4	5,244	Celda 4	5,646
Celda 5	5,365	Celda 5	5,745
Celda 6	5,304	Celda 6	5,719
Celda 7	5,415	PROMEDIO ANUAL	5,6115
Celda 8	5,347	SAN MANUEL CHAPARRÓN	
Celda 9	5,479		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 10	5,548	Celda 1	5,627
Celda 11	5,504	Celda 2	5,719
Celda 12	5,524	Celda 3	5,753
Celda 13	5,447	Celda 4	5,589
PROMEDIO ANUAL	5,373461	Celda 5	5,745
SAN PEDRO PINULA		PROMEDIO ANUAL	5,6866
	ANNGLO (KWH/M²)	MONJAS	
Celda 1	5,464		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 2	5,479	Celda 1	5,524
Celda 3	5,459	Celda 2	5,504
Celda 4	5,347	Celda 3	5,589
Celda 5	5,49	Celda 4	5,627
Celda 6	5,415	PROMEDIO ANUAL	5,561
Celda 7	5,588	MATAQUESCUINTLA	
Celda 8	5,66		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 9	5,627	Celda 1	5,174
Celda 10	5,504	Celda 2	5,163
Celda 11	5,719	Celda 3	5,215
PROMEDIO ANUAL	5,522909	Celda 4	5,454
		Celda 5	5,391
		PROMEDIO ANUAL	5,2794

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Radiación anual promedio en los municipios de Jutiapa

JUTIAPA			
SANTA CATARINA MITA		ASUNCIÓN MITA	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,627	Celda 1	5,832
Celda 2	5,589	Celda 2	5,837
Celda 3	5,767	Celda 3	5,88
Celda 4	5,832	Celda 4	5,753
Celda 5	5,753	Celda 5	5,793
Celda 6	5,793	Celda 6	5,833
Celda 7	5,745	Celda 7	5,928
PROMEDIO ANUAL	5,729428	Celda 8	5,741
AGUA BLANCA		Celda 9	5,923
	ANNGLO (KWH/M²)	PROMEDIO ANUAL	5,8355
Celda 1	5,745	MOYUTA	
Celda 2	5,793		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 3	5,88	Celda 1	5,623
Celda 4	5,928	Celda 2	5,617
Celda 5	5,806	Celda 3	5,754
Celda 6	5,709	Celda 4	5,648
PROMEDIO ANUAL	5,81016	Celda 5	5,88
		Celda 6	5,926
		Celda 7	5,865
		PROMEDIO ANUAL	5,759
		PASACO	
			ANNGLO (KWH/M²)
		Celda 1	5,735
		Celda 2	5,607
		Celda 3	5,623
		Celda 4	5,754
		Celda 5	5,865
		Celda 6	5,926
		PROMEDIO ANUAL	5,75166

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Radiación anual promedio en los municipios de Chiquimula

CHIQUIMULA			
CHIQUIMULA		JOCOTÁN	
	ANNGLO (KWH/M²)		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 1	5,503	Celda 1	5,568
Celda 2	5,551	Celda 2	5,437
Celda 3	5,49	Celda 3	5,487
Celda 4	5,481	Celda 4	5,292
Celda 5	5,558	Celda 5	5,397
Celda 6	5,568	Celda 6	5,224
Celda 7	5,437	Celda 7	5,151
Celda 8	5,397	PROMEDIO ANUAL	5,365142
PROMEDIO ANUAL	5,498125	QUETZALTEPEQUE	
SAN JOSÉ LA ARADA			ANNGLO (KWH/M²)
	ANNGLO (KWH/M²)	Celda 1	5,613
Celda 1	5,481	Celda 2	5,709
Celda 2	5,646	Celda 3	5,559
Celda 3	5,613	Celda 4	5,433
Celda 4	5,558	Celda 5	5,238
PROMEDIO ANUAL	5,5745	Celda 6	5,183
SAN JUAN LA ERMITA		PROMEDIO ANUAL	5,45583
	ANNGLO (KWH/M²)	SAN JACINTO	
Celda 1	5,397		ANNGLO (KWH/M²)
Celda 2	5,433	Celda 1	5,613
Celda 3	5,224	Celda 2	5,558
Celda 4	5,183	Celda 3	5,433
PROMEDIO ANUAL	5,30925	Celda 4	5,397
		PROMEDIO ANUAL	5,50025
		IPALA	
			ANNGLO (KWH/M²)
		Celda 1	5,646
		Celda 2	5,745
		Celda 3	5,709
		Celda 4	5,806
		Celda 5	5,613
		PROMEDIO ANUAL	5,7038

Fuente: elaboración propia.

Según las tablas correspondientes a la radiación promedio anual de los municipios de los departamentos pertenecientes al Corredor Seco, los datos obtenidos por medio del programa Swera_Gst muestran radiaciones parecidas, alrededor de 5,3 kilovatios hora por metro cuadrado por día (KWH/M²/día) según los promedios generados.

Lo anterior es una clara evidencia de las altas temperaturas que se han originado en la zona semiárida, sin embargo, también es una muestra de la alta capacidad de radiación y por ende de aceptación del uso de energía solar como una forma de mitigación ante los problemas climatológicos.

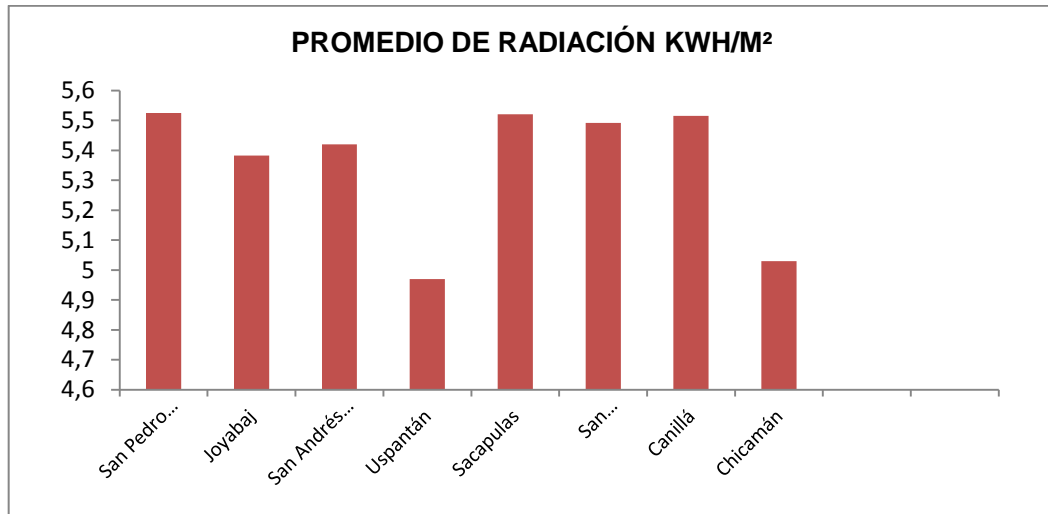
No obstante es necesario saber cuál es el departamento y municipio más apto para el uso de este tipo de energía renovable. Es por ello que se realizan comparaciones de radiaciones departamentales y municipales para establecer los lugares que poseen mayor radiación, y así segmentar el grupo objetivo que se propondrá para utilizar nuevas tecnologías energéticas que contribuyan al medio ambiente.

Tabla XXI. **Radiación municipal de Quiché**

QUICHÉ	
MUNICIPIOS	Promedio de Radiación anual KWH/M²
Zacualpa	5,412
San Antonio Ilotenango	5,32974
San Pedro Jocopilas	5,525375
Joyabaj	5,3828
San Andrés Sajcabajá	5,4202
Uspantán	4,9695
Sacapulas	5,520285
San Bartolomé Jocotenango	5,49216
Canillá	5,5155
Chicamán	5,03

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Promedio de radiación municipal en Quiché



Fuente: elaboración propia.

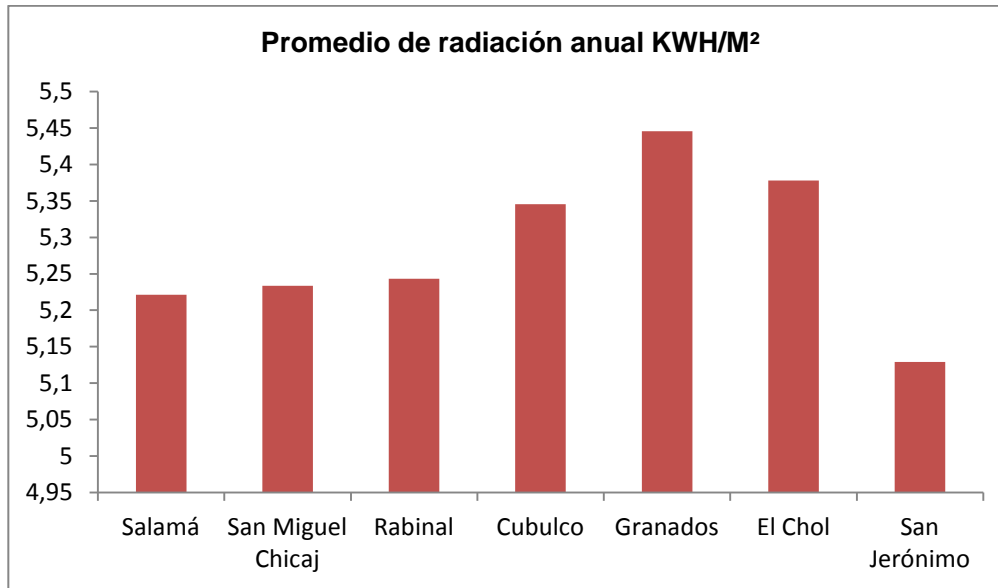
Municipios con mayor radiación: San Pedro Jocopilas y Sacapulas.

Tabla XXII. Radiación municipal de Baja Verapaz

BAJA VERAPAZ	
Municipios	Promedio de radiación anual KWH/M²
Salamá	5,2214
San Miguel Chicaj	5,23371
Rabinal	5,2433
Cubulco	5,34538
Granados	5,4458
El Chol	5,3782
San Jerónimo	5,129

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Promedio de radiación municipal en Baja Verapaz



Fuente: elaboración propia.

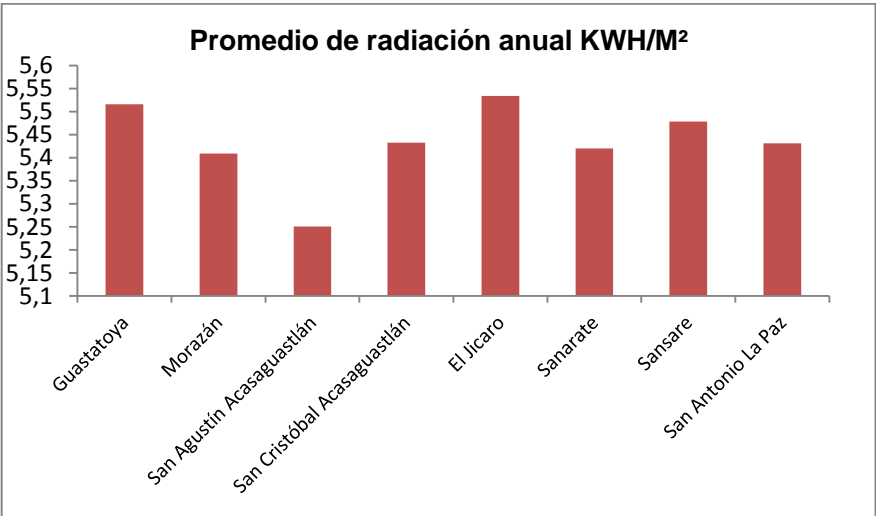
Municipios con mayor radiación: Granados y El Chol.

Tabla XXIII. Radiación municipal de El Progreso

EL PROGRESO	
Municipio	Promedio de radiación anual KWH/M²
Guastatoya	5,51616
Morazán	5,4091
San Agustín Acasaguastlán	5,2509
San Cristóbal Acasaguastlán	5,4328
El Jicaro	5,5344
Sanarate	5,420428
Sansare	5,4785
San Antonio La Paz	5,4316

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Promedio de radiación municipal en El Progreso



Fuente: elaboración propia.

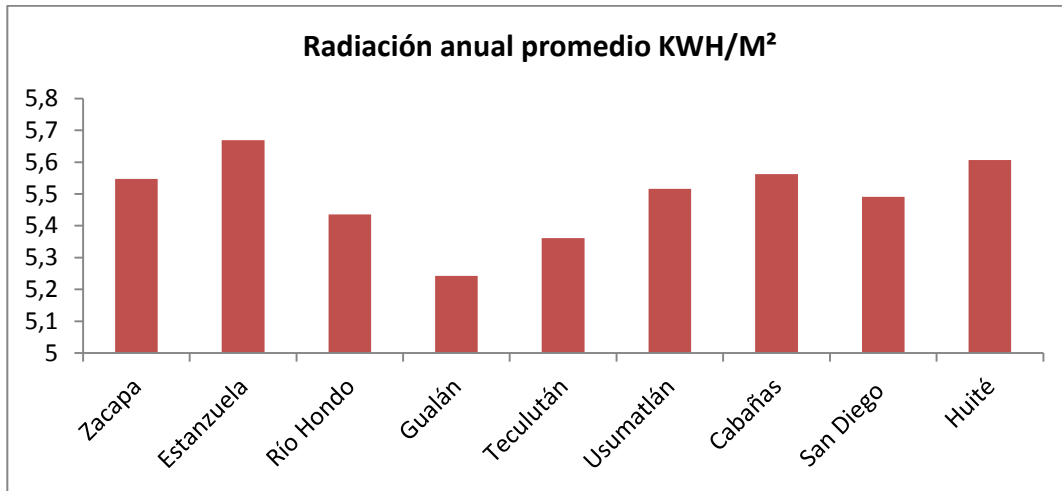
Municipios con mayor radiación: Guastatoya y El Jícaro.

Tabla XXIV. Radiación municipal de Zacapa

ZACAPA	
Municipio	Radiación anual promedio KWH/M²
Zacapa	5,5468
Estanzuela	5,66925
Río Hondo	5,4351
Gualán	5,242583
Teculután	5,361166
Usumatlán	5,516
Cabañas	5,5624
San Diego	5,491
Huité	5,6065

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Promedio de radiación municipal en Zacapa



Fuente: elaboración propia.

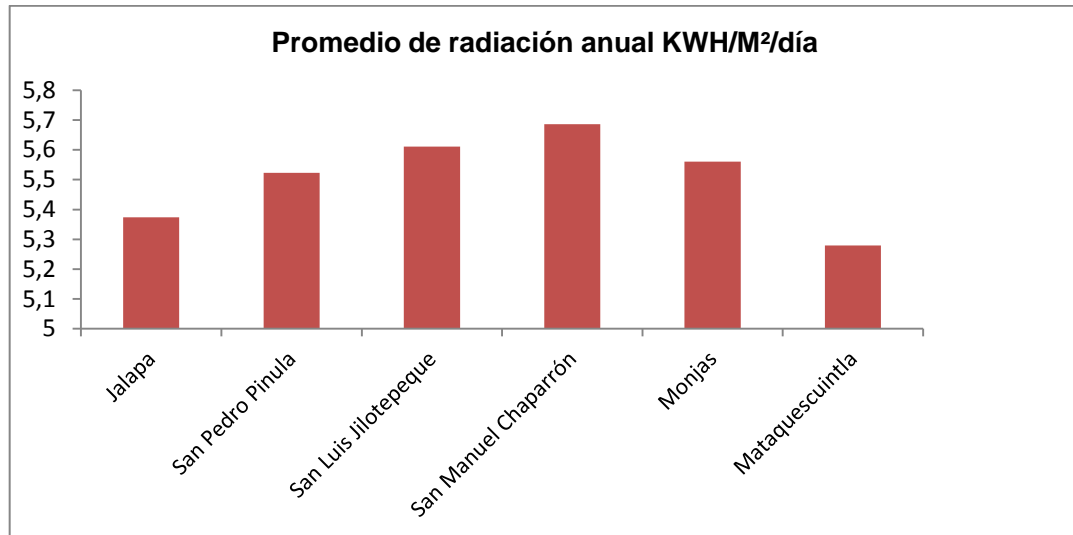
Municipios con mayor radiación: Estandzuela y Huité.

Tabla XXV. Radiación municipal de Jalapa

JALAPA	
Municipio	Promedio de radiación anual KWH/M²
Jalapa	5,373461
San Pedro Pinula	5,522909
San Luis Jilotepeque	5,6115
San Manuel Chaparrón	5,6866
Monjas	5,561
Mataquescuintla	5,2794

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Promedio de radiación municipal en Jalapa**



Fuente: elaboración propia.

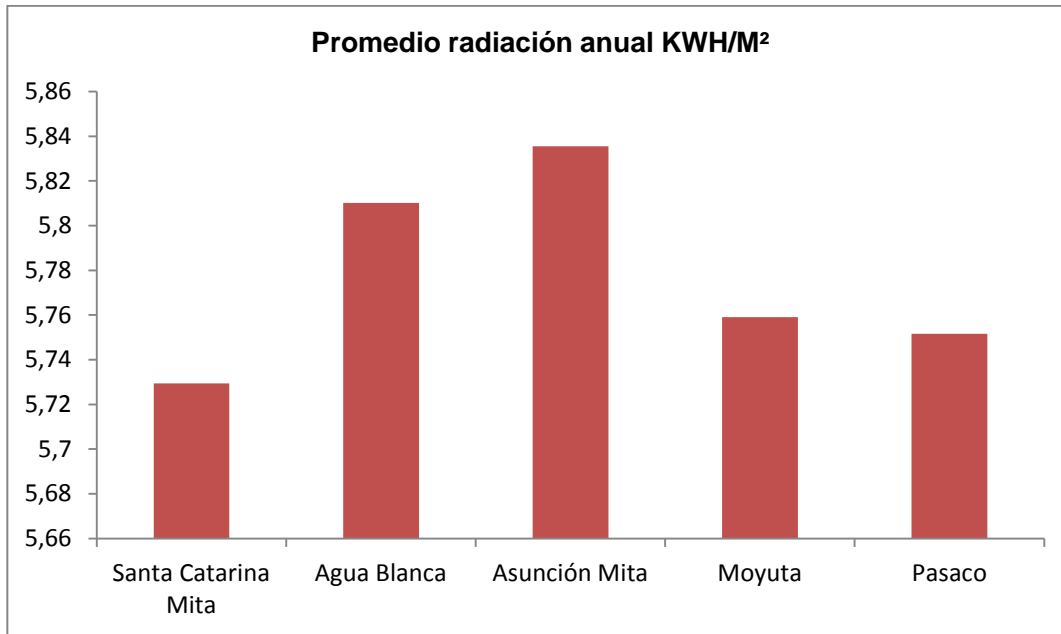
Municipios con mayor radiación: San Manuel Chaparrón y San Luis Jilotepeque.

Tabla XXVI. **Radiación municipal de Jutiapa**

JUTIAPA	
Municipios	Promedio radiación anual KWH/M²
Santa Catarina Mita	5,729428
Agua Blanca	5,81016
Asunción Mita	5,8355
Moyuta	5,759
Pasaco	5,75166

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Promedio de radiación municipal en Jutiapa**



Fuente: elaboración propia.

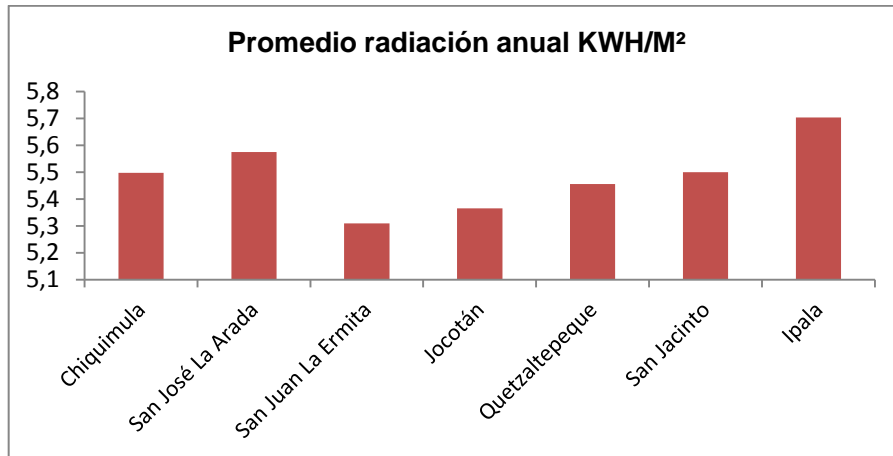
Municipios con mayor radiación: Agua Blanca y Asunción Mita.

Tabla XXVII. **Radiación municipal de Chiquimula**

CHIQUIMULA	
Municipio	Promedio radiación anual KWH/M²
Chiquimula	5,498125
San José La Arada	5,5745
San Juan La Ermita	5,30925
Jocotán	5,365142
Quetzaltepeque	5,45583
San Jacinto	5,50025
Ipala	5,7038

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Promedio de radiación municipal en Chiquimula**



Fuente: elaboración propia.

Municipios con mayor radiación: San José la Arada e Ipala.

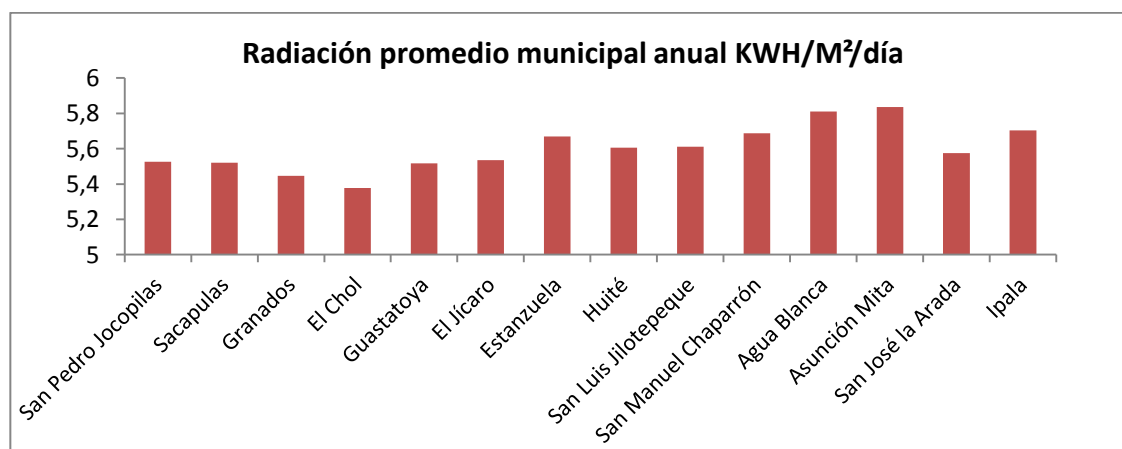
De acuerdo a los valores anteriormente obtenidos, se logró visualizar que todos los departamentos pertenecientes al Corredor Seco poseen una radiación semejante. Ahora bien, se procede a realizar un gráfico comparativo departamental y uno municipal, para este último se seleccionaron los dos municipios con mayor radiación de cada departamento para establecer la diferencia de potencial solar entre los mismos.

Tabla XXVIII. **Radiación solar departamental**

DEPARTAMENTO	PROMEDIO KWH/M ² /día
Quiché	5,359756
Baja Verapaz	5,285255714
El Progreso	5,434236
Zacapa	5,492311
Jalapa	5,50581167
Jutiapa	5,7771496
Chiquimula	5,48669957

Fuente: elaboración propia

Figura 22. **Radiación solar departamental**



Fuente: elaboración propia.

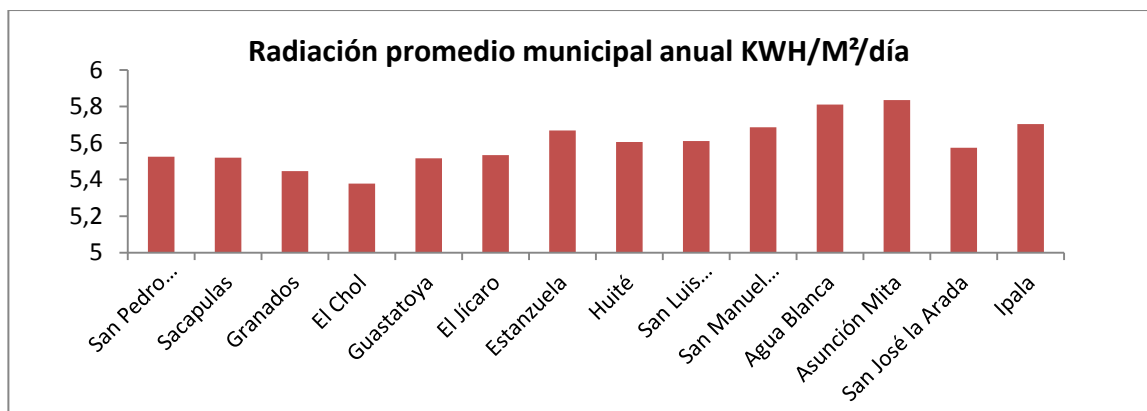
Según los gráficos anteriores se concluye que el departamento con mayor radiación solar es Jutiapa, tomando como base el programa Swera_Gst con celdas de 10 kilómetros por 10 kilómetros. A continuación se procede a conocer los municipios con mayor radiación.

Tabla XXIX. **Radiación solar departamental por municipio**

	Municipios	Radiación promedio anual KWH/M ² /día
QUICHÉ	San Pedro Jocopilas	5,525375
	Sacapulas	5,520285
BAJA VERAPAZ	Granados	5,4458
	El Chol	5,3782
EL PROGRESO	Guastatoya	5,51616
	El Jícaro	5,5344
ZACAPA	Estanzuela	5,66925
	Huité	5,6065
JALAPA	San Luis Jilotepeque	5,6115
	San Manuel Chaparrón	5,6866
JUTIAPA	Agua Blanca	5,81016
	Asunción Mita	5,8355
CHIQUMULA	San José la Arada	5,5745
	Ipala	5,7038

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Radiación solar departamental por municipio**



Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Descripción general

Con base en la información generada por el programa Swera_Gst y los gráficos como medio de análisis, se establece que todos los departamentos

cuentan con potencial solar, sin embargo, existen áreas territoriales que cuentan con distintos niveles de radiación debido a los valores arrojados por las celdas, siendo el departamento de Jutiapa el que posee un radiación solar mayor (figura 22).

Asimismo, los municipios que poseen mayor radiación son Agua Blanca y Asunción Mita, los cuales también pertenecen al departamento de Jutiapa (figura 23).

Dentro del potencial de Jutiapa y sus municipios de Asunción Mita y Agua Blanca, está su extensión territorial, puesto que son los que mayor extensión poseen. Asunción Mita con 476 kilómetros cuadrados y Agua Blanca 340 kilómetros cuadrados, lo que da como resultado beneficiar a mayores habitantes. Asimismo, el sector agrícola es la primera fuente de empleo especialmente por el cultivo de maíz, lenteja, tomate, caña de azúcar y tabaco. Cuentan con fuentes de agua potable y recursos hídricos con mayor cantidad en Asunción Mita.

No obstante dentro de sus limitantes se encuentran el elevado número de cerros y volcanes lo que no beneficia al uso de energía solar puesto que no se aprovecha el Sol al 100 %, por impedir su radiación directa debido a la sombra que genera. Afortunadamente los volcanes y cerros no representan gran presencia en los municipios con mayor potencial solar, salvo el volcán Ixtepeque en Asunción Mita, lo que no afecta a la población ni al uso de energía solar.

Con el análisis anterior se comprueba en totalidad que Jutiapa cuenta con potencial para el uso de energía solar, especialmente en Agua Blanca y Asunción Mita, con un porcentaje mayor en este último por su recurso hídrico.

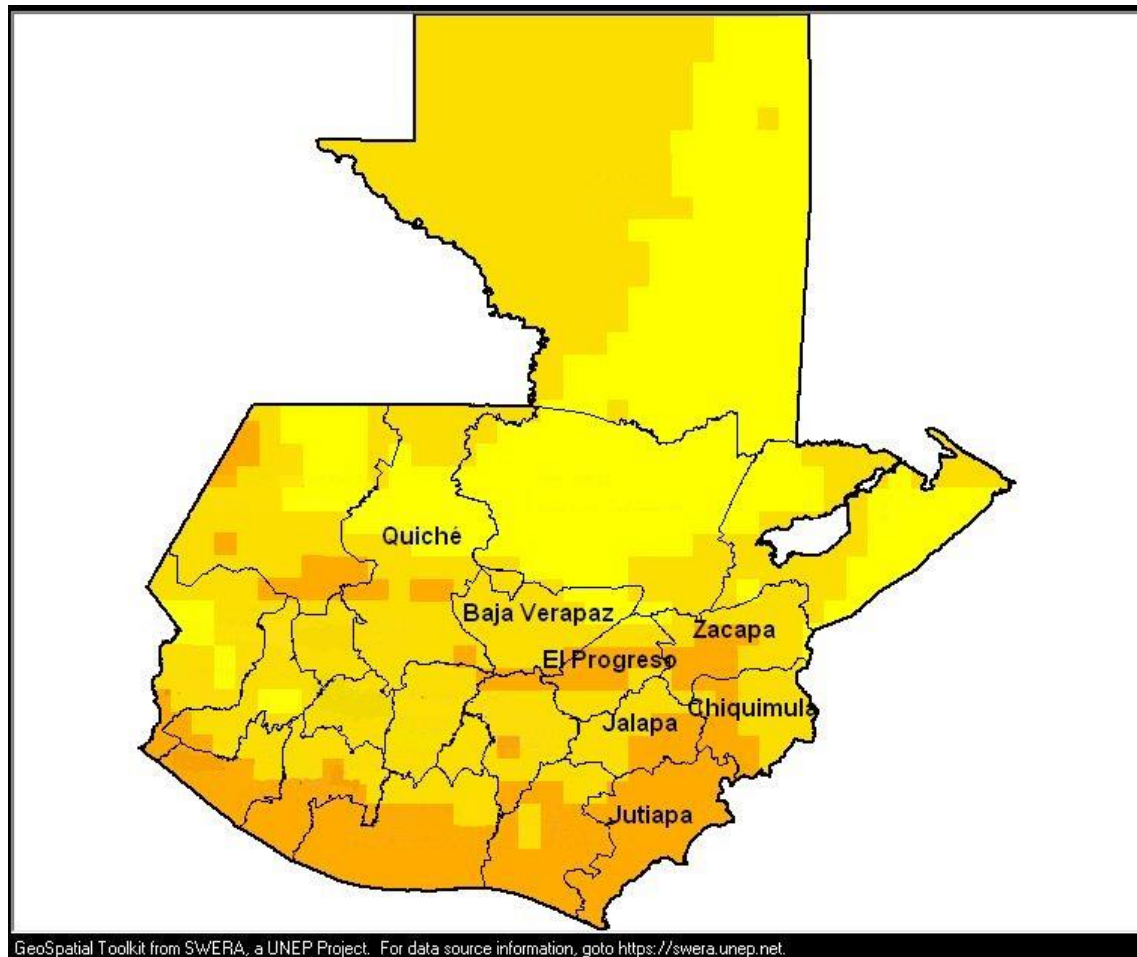
4.1.2. Mapas

A continuación se muestran los mapas departamentales de acuerdo a la radiación solar que presentan cada uno de sus municipios. La franja en tonalidad más oscura significan las áreas territoriales que poseen mayor radiación, lo cual queda comprobado con los datos de radiación obtenidos en la sección anterior.

4.1.2.1. Departamentos

En el siguiente mapa se identifican los departamentos pertenecientes al Corredor Seco, mismos que se caracterizan por altas temperaturas, las cuales se representan según tonalidad del mapa, es decir a mayor temperatura mayor oscuridad en la tonalidad.

Figura 24. Radiación solar de los departamentos del Corredor Seco

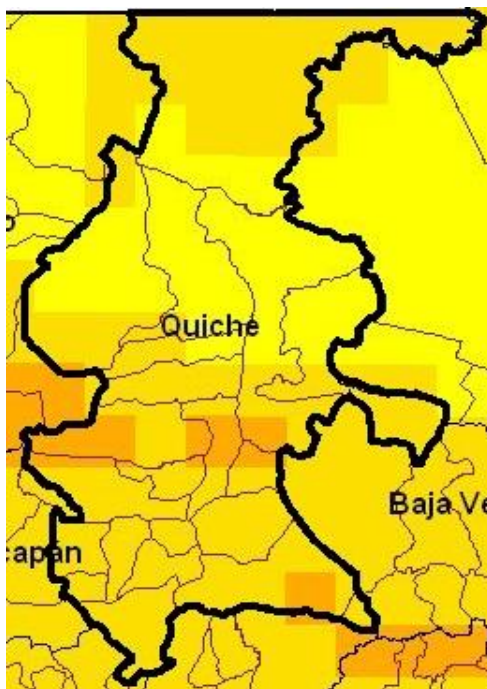


Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

4.1.2.2. Municipios

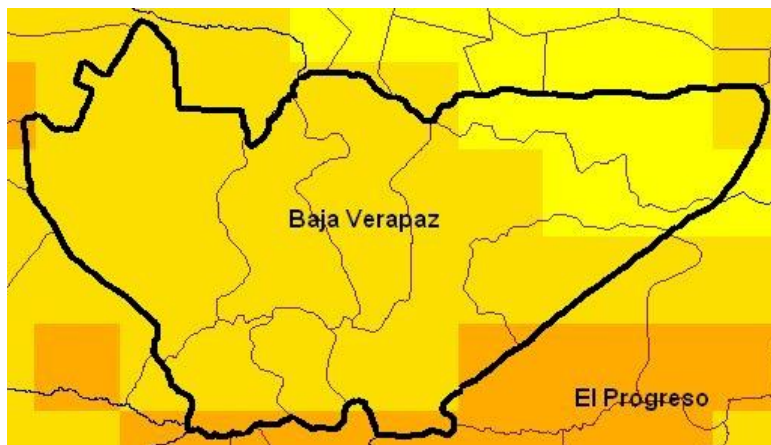
De acuerdo a los mapas presentados a continuación, se logra observar la radiación de los municipios de cada departamento, basados en la intensidad de color que presentan. Es por ello que se manifiesta claramente que existe un gran potencial de Sol en todos los departamentos, con mayor intensidad en Jutiapa, lo que nuevamente ratifica que es el que posee mayor radiación.

Figura 25. **Radiación solar del departamento de Quiché**



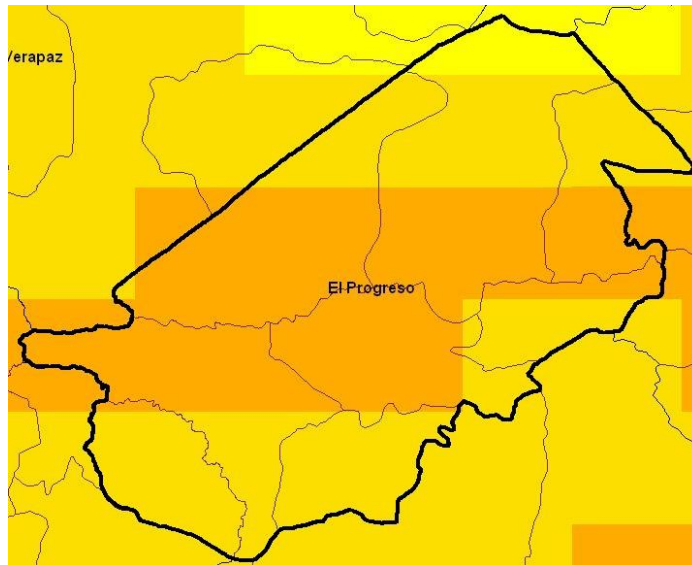
Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

Figura 26. **Radiación solar del departamento de Baja Verapaz**



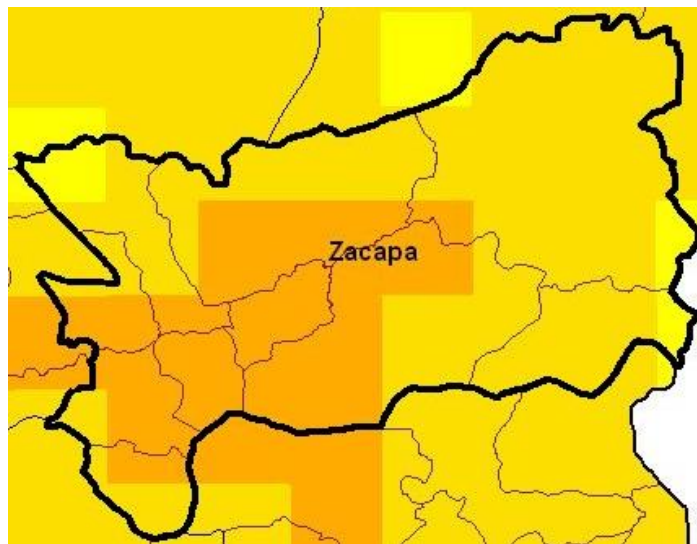
Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

Figura 27. **Radiación solar del departamento de El Progreso**



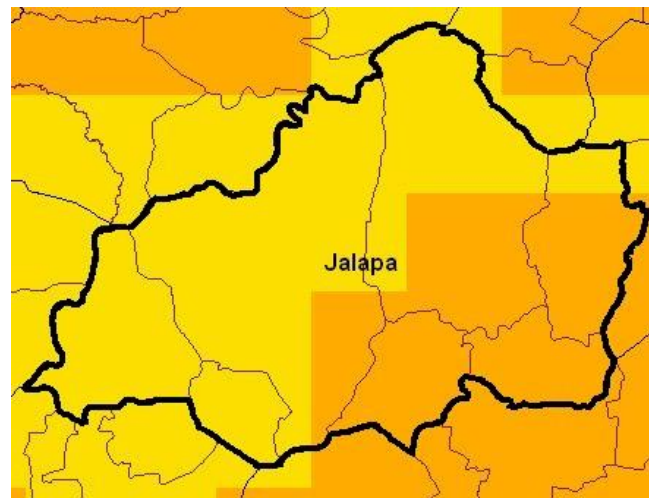
Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

Figura 28. **Radiación solar del departamento de Zacapa**



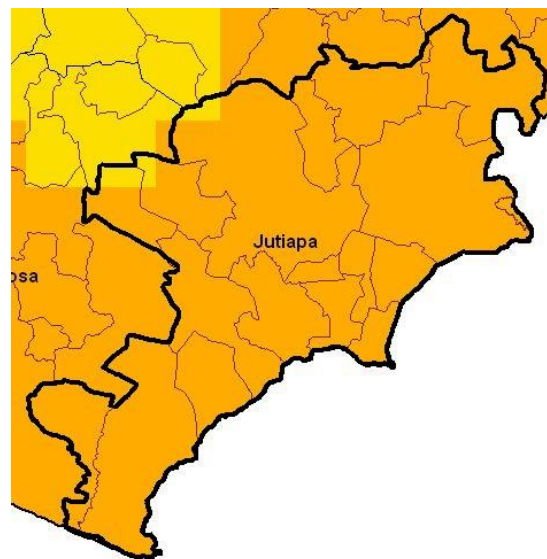
Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

Figura 29. **Radiación solar del departamento de Jalapa**



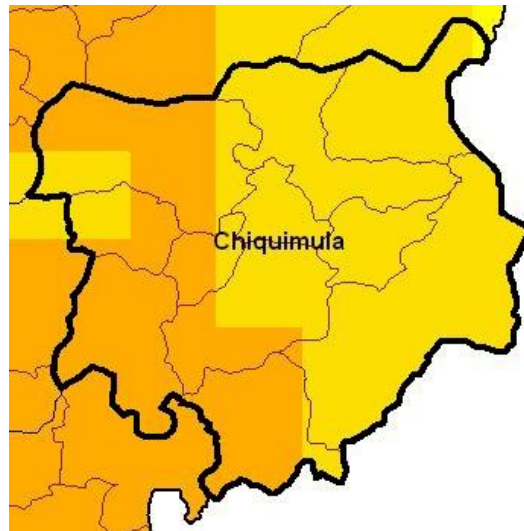
Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

Figura 30. **Radiación solar del departamento de Jutiapa**



Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

Figura 31. **Radiación solar del departamento de Chiquimula**



Fuente: Solar Energy Resource. https://Swera_gst.net. Consulta: marzo de 2015.

4.1.3. Consecuencias

El cambio climático conocido como la modificación del clima, ampliado en el título I, subtítulo 1.2, es la principal causa de la sequía que actualmente afecta a departamentos del Corredor Seco, especialmente por fenómenos como “El Niño”, debido a un desbalance del paso de energía calorífica a través de la atmósfera, lo que tiene un efecto global sobre la agricultura, recursos hídricos y otras actividades económicas.

Es por ello que hoy en día las estaciones no están definidas y se encuentra una combinación de climas húmedos y secos, en una temporada que debería estar caracterizada por ser invierno o verano. En los departamentos de la zona semiárida se observa una reducción de precipitaciones anuales, especialmente de junio a agosto en lo que antes eran conocidos por ser meses caracterizados por lluvias.

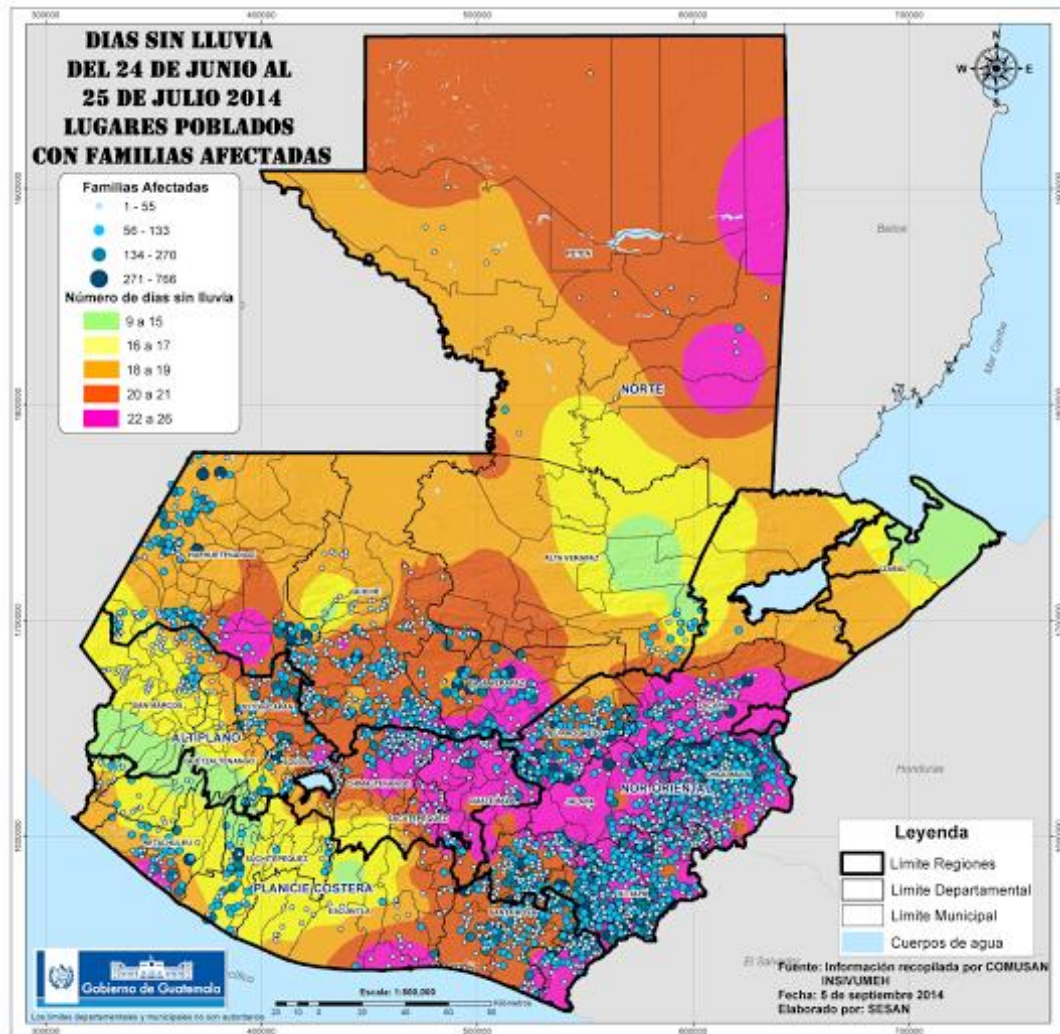
La elevada radiación solar que hoy en día se presenta en el país ha sido la base de la estimación de la expansión del área territorial de zonas semiáridas para el 2050, lo que intensifica fenómenos conocidos como canícula.

Si bien las sequías han perjudicado a más de 276 000 familias, 168 000 se ven afectadas en la producción de maíz y frijol que son los granos que constituyen la base alimentaria de la población guatemalteca, y los cuales ocupan el 12,7 % de la de la superficie del país.

Cultivos como el trigo, fresa, mora, papa y trigo también se ven severamente afectados, lo que expone a los habitantes a la inseguridad alimentaria, pobreza y desnutrición crónica en niños, lo cual catapulta a Guatemala como el país con mayor desnutrición en América Latina y repercute en la economía y educación, entre otros.

Diversos departamentos reportan problemas provenientes de las elevadas temperaturas, por ejemplo en Baja Verapaz los habitantes reportan menores nacimientos de agua, quebradas secas, lluvias con granizo en Salamá y plaga de mosquitos que produce dengue. Por su parte el departamento de El Progreso presenta climas secos y calurosos, lluvia escasa e irregular y aumento de sequías que afectan su modo de vida. Mientras tanto Zacapa es uno de los departamentos más afectados por la variabilidad del clima, pues presenta una crecida de los ríos y disminución de caudales de agua lo que afecta a la producción agrícola y evita el acceso a energía eléctrica.

Figura 32. Días sin lluvia durante junio y julio de 2014



Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

En el mapa anterior se observan las familias afectadas durante el 2014 en de junio y julio por la falta de lluvias, las cuales disminuyen anualmente, ante esto se proponen las siguientes medidas:

- Medidas de prevención de sequía

Entre las medidas están la implementación de técnicas como barreras vivas, labranza mínima, abonos verdes, pozos de absorción, canales de drenajes, sistemas agroforestales para mantener la humedad en el suelo.

También se recomienda reforestar las áreas próximas a fuentes o nacimientos de agua. Construir estructuras de almacenamiento de agua por medio de pozas o cauces.

4.2. Generación de energía solar en el Corredor Seco

Con base en la información de energía solar proporcionada en el título I, subtítulo 1.5 se muestran dos tipos principales de generación de energía solar: térmica y fotovoltaica. La energía solar térmica puede presentarse en alta, mediana y baja temperatura pero su fin sigue siendo transformar la radiación solar en energía calorífica. Mientras tanto la energía solar fotovoltaica utiliza células que transforman directamente la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua.

La generación de energía solar en el Corredor Seco de Guatemala es altamente factible, ejemplo de ello son los proyectos que se han llevado a cabo en esa región (título 3) y los que están en vías de desarrollo. Aunado a esos proyectos, esta investigación ha determinado que el lugar posee una radiación solar perfecta para hacer uso de cualquier tipo de energía solar.

Sin embargo, la energía solar térmica y fotovoltaica teniendo en común la necesidad de la radiación solar para funcionar, varían según el uso o

necesidades que se tengan, y es ello lo que permite conocer qué tipo de energía solar será la más factible y viable para utilizar en la región semiárida.

4.2.1. Utilización

La energía solar térmica con frecuencia se utiliza para la calefacción doméstica de agua, lo que hace pensar que no es una opción que pueda generar cambios altamente positivos en la región del Corredor Seco, ya que si bien se puede utilizar para cocinar, pues podría disminuir el uso de leña debido al menor tiempo de cocción de alimentos y agua, no contrarrestaría los problemas derivados del cambio climático debido a que no se evitaría en su totalidad o en gran porcentaje la tala de árboles derivada del uso de la leña.

El uso del agua caliente para el baño diario también sería una forma de utilizar la energía solar térmica, pero tampoco genera un impacto positivo pues se sabe que la región del Corredor Seco es una zona con altas temperaturas, por lo que el agua caliente para higiene personal pasaría a segundo plano.

Más allá del uso del agua caliente para diversos factores es lógico pensar que la energía térmica no podría ser un medio de ayuda a esta zona semiárida, y es precisamente por esa característica es decir la sequía, la falta de recursos hídricos o bien la contaminación en los mismos.

Derivado de ello se determina que una de las opciones factibles, es la energía solar fotovoltaica, la cual puede utilizarse de distintas formas. Podría ser una buena manera de solucionar problemas de transmisión de información desde un lugar aislado, como por ejemplo reemisores de señales de televisión, radioenlaces, telemetría y estaciones meteorológicas. Asimismo, es de gran ayuda para la navegación en las señalizaciones de faros, boyas, balizas,

plataformas, señales de intensidad de viento, entre otros. No obstante estas opciones tampoco permiten brindar una mejor calidad de vida a la población de los distintos departamentos afectados por la sequía.

Otro de los usos de la energía solar fotovoltaica es en las redes de carreteras y autopistas para iluminar cruces y túneles, en la alimentación de teléfonos de emergencia y puestos de socorro alejados de las líneas eléctricas, lo que en términos de seguridad definitivamente es una excelente opción.

“En la industria, las aplicaciones pueden ser muy variadas, tales como la electrolisis para la obtención de metales como cobre, aluminio y plata, la fabricación de acumuladores eléctricos, entre otros. En enseñanza pueden utilizarse en la red eléctrica de las escuelas situadas en zonas aisladas para ver televisión y programas educativos de divulgación.”¹⁵

Más allá de los diferentes usos no se debe perder el objetivo de esta investigación, el cual persigue encontrar un medio de mitigación de los problemas generados por la variabilidad climática, teniendo en cuenta que la gran mayoría de la población del Corredor Seco se dedica a la agricultura, siendo esta su principal medio de subsistencia y desarrollo humano.

Es por esa razón que el uso de la energía solar fotovoltaica que mayor impacto positivo generaría en esta zona es aquel con enfoque en la agricultura y ganado, en la vigilancia forestal para la prevención de incendios y en el bombeo de agua para el regadío de los campos.

¹⁵ CREUS SOLÉ, Antonio. *Energías renovables*. p.128.

4.3. Tecnologías para la aplicación de energía solar en el Corredor Seco

Luego de establecer la radiación solar a nivel departamental y municipal y constatar que poseen potencial para el uso de energía solar, siendo esas las pautas para establecer propuestas que ayuden al desarrollo de la zona. Se sabe que más del 70 % de la población del Corredor Seco se dedica a la agricultura pero que por motivos de sequía no se desarrollan cultivos altamente productivos, lo que genera pobreza, enfermedades, desempleo, entre otros.

Ante esas problemáticas se piensan en dos usos de energía solar que son: sistema fotovoltaico de bombeo de agua y cultivos protegidos. Antes de iniciar el desarrollo de esos temas es necesario explicar que un recurso necesario para esos sistemas es el agua, y se podría pensar que por ser una zona semiárida no se cuenta con recursos hídricos, sin embargo, luego de una investigación sobre la hidrología del lugar (título 1, subtítulo 1.6), se denota que Guatemala cuenta con grandes potencialidades de agua pero lo afectan factores como la contaminación y el uso desmedido de la misma.

4.3.1. Sistema fotovoltaico de bombeo de agua

En los sistemas de bombeo el recurso básico a utilizar es el agua la cual se especifica por día, teniendo en consideración el uso que se le dará al sistema. El agua no es un indicador del costo puesto que también debe conocerse la profundidad de bombeo, la altura de descarga y la carga por fricción en la tubería y los accesorios a utilizar. Este tipo de sistema ya es utilizado en otros países hace varios años y se aplica especialmente sistemas aislados, presentando gran beneficio en la generación de agua potable, comunidades rurales, aplicación agrícola y ganadera.

Hay distintos tipos de sistemas de bombeo solar para riego, los hay con bombas solares de superficie y con bombas solares sumergibles. Cada tipo tiene su lugar de aplicación, en este caso se propone un sistema de bombeo con una bomba solar sumergible, la cual es un tipo de bomba que está unida al motor en la misma carcasa y como no depende de la presión externa del aire para elevar el líquido ofrece una ventaja considerable en el riego agrícola y abastecimiento de aguas en zonas rurales, factores que hoy en día son necesarios en el Corredor Seco.

Dadas las condiciones geográficas de Guatemala en sí (mantos freáticos, ríos, lagos, elevación, entre otros) se pueden utilizar en lugares aislados beneficiando a una familia o a una comunidad dependiendo del tamaño del proyecto. Este tipo de riego llega a ser más eficiente, económico y ya que es sostenible resulta de mayor beneficio en la alimentación, también en comparación con otro tipo de tecnologías como las de los combustibles fósiles o la energía eléctrica tradicional. “De acuerdo a los proyectos anteriormente realizados se ha llegado a la conclusión de que para garantizar una factibilidad económica el ciclo hidráulico no debe sobrepasar los 150 metros cúbicos. Los sistemas de bombeo diésel o eólicos son más competitivos cuando se requiere un ciclo hidráulico mayor.”¹⁶

Si se desea utilizar el agua para riego, esta dependerá del cultivo a regar, pues las necesidades de agua oscilan entre 100 m³/día/Hectárea durante los meses de baja precipitación y valores que se aproximan a cero en épocas de lluvia. Mientras tanto en zonas rurales el agua requiere una demanda constante durante todo el año, dependiendo de la cantidad a utilizar. En cuanto a las necesidades básicas la demanda de agua oscila entre los 20-40 litros al día por persona, con un tiempo de uso de 8 horas.

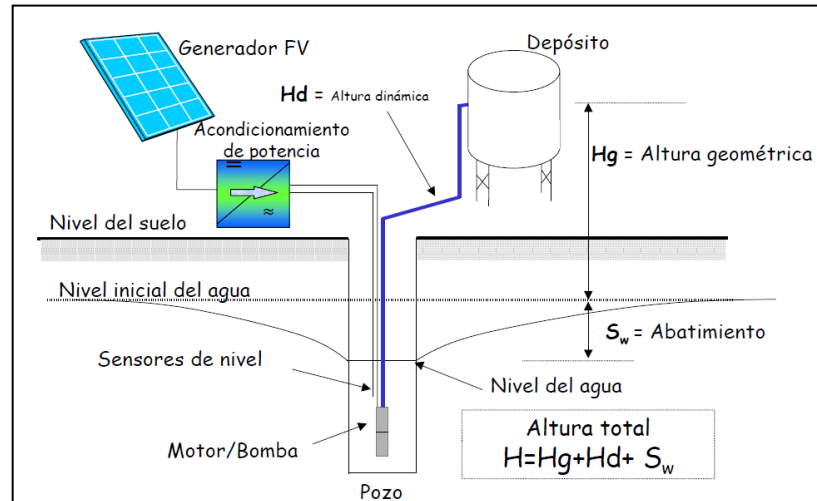
¹⁶ CIEMAT. *Sistemas de bombeo fotovoltaico*. p. 20.

“Un sistema FV de bombeo de agua consta generalmente de un generador FV, un sistema motor/bomba, un sistema de acondicionamiento de potencia (opcional) de acoplo entre el generador FV y el motor, un sistema de acumulación, un pozo y un sistema de tuberías. A pesar de que se instalan bombas de superficie y flotantes, la configuración más habitual es un sistema motobomba sumergible instalada en un pozo de sondeo.”¹⁷

Los paneles fotovoltaicos oscilan entre los 10 y los 300 Watts pico con una vida útil de 20 a 30 años. En este tipo de sistemas para bombeo no es necesario utilizar baterías, ya que se puede conectar directamente al motor de la bomba, sin embargo, para tener un aprovechamiento al máximo del sistema se podrían colocar baterías para los días en los que no se necesite bombear agua, se utilice para alimentar de energía eléctrica otros dispositivos (estufa eléctrica, bombillos, entre otros), estas baterías tiene una vida útil de 5 a 6 años.

¹⁷ ARIJA GONZÁLEZ, David. *Prototipo de sistema de bombeo fotovoltaico para proyectos de cooperación al desarrollo con tecnologías apropiadas*. p. 5.

Figura 33. **Sistema de bombeo fotovoltaico**



Fuente: CIEMAT. *Sistemas de bombeo fotovoltaico*. p. 31.

Existen factores que indican la configuración del sistema de bombeo entre ellas:

- Las condiciones del clima y el potencial de radiación solar
- Condiciones hidráulicas:
 - La profundidad del nivel del agua en el pozo (agua subterránea)
- La altura dinámica

Para el caso de los sistemas de riego, las necesidades del agua dependen de la radiación por lo que no es necesario el uso de baterías.

- Requerimientos hidráulicos

Caudal mínimo que debe suministrar la bomba

$$Q_B = Q_d \times 1,8$$

Altura hidráulica de bombeo = suma de altura estática, dinámica y el abatimiento del pozo.

$$h = H_d + H_g + S_w$$

En donde H_g es la distancia geométrica desde el nivel del agua en el pozo hasta el punto más elevado y H_d es resultado de la caída de presión cuando un líquido circula por el interior de una tubería.

- Equipo de bombeo en sistemas fotovoltaicos
 - Bombas centrífugas: son sumergibles o de superficie, bombean el agua a 60 metros de carga dinámica, dependiendo de los impulsores los cuales tienen la función de arrastrar agua por su eje y la expulsan radialmente.
 - Bombas volumétricas: también llamadas de desplazamiento positivo, adecuadas para bajos caudales y altura grande de bombeo. En ellas el caudal es proporcional al volumen del agua y si aumenta la radiación solar aumenta la velocidad del motor y el flujo del agua es mayor.
 - Bombas de cilindro: se aplican en bombeo mecánico activado por viento, tracción animal o humana.
 - Bombeo de diafragma: consiste en un diafragma flexible colocado dentro de un cuerpo cerrado accionado por un mecanismo

reciprocante. Requiere del uso de válvulas para forzar el líquido que circula.

Tabla XXX. **Características de las bombas fotovoltaicas**

Bombas fotovoltaicas	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Centrífugas sumergibles	<p>Comúnmente disponibles</p> <p>Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena</p> <p>Pueden utilizar el agua como lubricante</p> <p>Utilizan motores de CD de velocidad variable o CA</p> <p>Manejan altos caudales</p> <p>Operan cargas dinámicas grandes</p> <p>Tienen un diseño modular que les permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos</p>	<p>Tienen un intervalo de deficiencia estrecho con respecto a la CDT</p> <p>Se dañan si trabajan en seco</p> <p>Deben extraerse para darles mantenimiento</p> <p>Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas</p>
Centrífugas de succión superficial	<p>Comúnmente disponibles</p> <p>Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena</p> <p>Son de fácil operación y mantenimiento</p> <p>Utilizan motores de CD de velocidad variable o CA</p> <p>Manejan altos caudales</p> <p>Manejan cargas dinámicas intermedias aunque no son capaces de succionar más de 8 metros</p>	<p>Tienen un intervalo de deficiencia estrecho con respecto a la CDT</p> <p>Se dañan si trabajan en seco</p> <p>Pueden dañarse por congelamiento en climas fríos</p> <p>Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas</p>
Desplazamiento positivo	<p>Soportan cargas dinámicas muy grandes</p> <p>La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón</p>	<p>Requieren el reemplazo regular de sellos del pistón</p> <p>No toleran arenas o sedimentos</p> <p>La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro</p> <p>Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar sellos.</p> <p>No dan grandes caudales</p>
Diafragma	<p>Operan cargas dinámicas menores a 40 metros</p> <p>Son muy económicas</p>	<p>No toleran arenas o sedimentos</p> <p>No trabajan en cargas dinámicas grandes</p> <p>Bajos caudales</p>

Fuente: CENIDET. *Estudio de sistemas de bombeo fotovoltaicos*. p. 23.

Los sistemas de bombeo fotovoltaicos son una opción económicamente rentable pese a los costos de inversión inicial que tienden a ser altos. Pero dicha rentabilidad reside en el mantenimiento mínimo necesario y el inexistente costo de operación puesto que el Sol es gratuito. No obstante la potencia de

estos sistemas presenta fallas relativamente rápido y debe investigarse las redes eléctricas más cercanas o la existencia de bombas de combustión interna es decir a base de diésel, sin embargo, el Corredor Seco cuenta únicamente con un proyecto de bombeo y es netamente fotovoltaico ubicado en Baja Verapaz.

Los resultados generados en Baja Verapaz por la instalación de este sistema no han sido compartidos por tratarse de un proyecto reciente (mayo 2015). Por ello, el análisis que a continuación se presenta es basado en los sistemas instalados en parte de América Latina y Asia, a través de una encuesta llevada a cabo por la FAO.

Países que cuentan con menor recurso hídrico que Guatemala como Filipinas, India o Marruecos han sido testigos del incremento diario del agua por el uso de este tipo de tecnología, el cual con el correr del tiempo ha aumentado su competitividad debido al bajo costo y mayor potencia, lo que en definitiva garantiza para una zona como el Corredor Seco que no es completamente árida y aún posee potencial hídrico en diversas zonas, una opción que mejoraría la calidad de vida y el desarrollo agrícola.

Tabla XXXI. **Repercusión de los sistemas FV en diversos sectores rurales de América Latina y Asia**

ACTIVIDAD	PORCENTAJE
Productividad Agrícola	35 %
Aplicaciones productivas no agrícolas: industria rural y artesanal, servicios comerciales y fomento de pequeños comercios	40 %
Servicios sociales y comunales	60 %
El hogar	81 %
Otras actividades (productivas), a saber: carteles/publicidad	5 %

Fuente: Encuesta de la FAO.

Tabla XXXII. **Repercusión de los sistemas FV en sectores rurales de América Latina y Asia**

TIPO DE APLICACIÓN	DISEÑO COMÚN DE LOS SISTEMAS	EJEMPLOS EXISTENTES
Aplicaciones en el sector agrícola		
Iluminación y ventilación para granjas avícolas, para ampliar la iluminación y aumentar la producción	50-150 Wp, electrónica, baterías, varios tubos fluorescentes, ventiladores	Egipto, la India, Indonesia, Viet Nam, Honduras
Irrigación	900 Wp, electrónica, tanque de agua pequeño con bomba de CD o CA	India, México, Chile
Cercas eléctricas para gestión del pastoreo	Tablero de 2 a 50 Wp, batería, alimentador para cerca	EE.UU., Australia, Nueva Zelandia, México, Cuba
Control de plagas (palomillas)	Linternas solares para apartar a las palomillas del campo	India (Winrock Intl.)
Refrigeración para conservación de fruta	Sistemas híbridos FV/eólicos o sistemas FV de 300 a 700 Wp con refrigeradores de CD (hasta 300 litros)	Indonesia (Winrock Intl.)
Clinicas veterinarias	300 Wp, baterías, electrónica, refrigerador/congelador, 2 tubos fluorescentes	Siria (proyecto de la FAO)
Agua para el ganado	900 Wp, bomba electrónica CD/CA, depósito de agua	EE.UU., México, Australia
Bombas de aire para cría de peces y camarones	800 Wp, baterías (500 Ah), electrónica, motor de CD, rueda hidráulica de paletas, para estanque de 150 m ²	Israel, EE.UU.
Incubadora de huevos	tablero de hasta 75 Wp, caja integrada y elemento de calefacción para empollar 60 huevos	India (Tata/BPSolar), Filipinas (proyecto BIG-SOL)
Aspersión de cultivos	5 Wp, aspersor	India (estados del sur), aunque BP Solar canceló el paquete de productos

Fuente: encuesta de la FAO.

4.3.2. Cultivo protegido

Ante problemas como la sequía y la intensa radiación solar que se vive en el país, cultivos como las hortalizas no se cosechan en su mejor estado, especialmente en períodos donde las lluvia no se presentan. Es por ello que surge como propuesta el cultivo protegido, el cual no es más que la protección de hortalizas de la intensa radiación solar con el fin de disminuirla hasta un 32 %, para garantizar su crecimiento en épocas de alta temperatura.

Este sistema es muy utilizado en el Mediterráneo, fabricado frecuentemente con plástico aunque existe un uso mínimo de vidrio en otros países el cual está a punto de desaparecer. España, Italia, Grecia, Túnez y

Marruecos son líderes en el uso de este tipo de tecnología, aumentando su cultivo de hortalizas en gran porcentaje, especialmente el tomate, pepino, lechuga y pimientos, jugando también un papel importante la fresa, melón y sandía.

La ventaja de este sistema es que la cosecha de los granos básicos (frijol, maíz y arroz) se aumenta hacia todo el año, puesto que el clima dentro del invernadero varía mínimamente, a través del uso de la plasticultura como también es llamada por la protección bajo plástico, se ha logrado convertir tierras que antes eran improductivas, en una explotación agrícola lo que lo traduce en un manejo eficiente del agua, oportunidad de empleos y desarrollo humano.

Según la radiación promedio de países y ciudades que utilizan los invernaderos, Guatemala posee las características idóneas para hacer uso de cultivos protegidos, debido al clima y radiación solar que posee. La temperatura debe cumplir con ciertos requisitos para hacer uso de esta tecnología, la cual se basa en una temperatura mínima que debe oscilar entre los 12 °C como mínimo, para un buen desempeño de dicho sistema.

Otra de las especificaciones es el suelo el cual está limitado por su textura, profundidad, características fisicoquímicas y entorno. El suelo debe tener una textura vasta que posea un mínimo de 50 % de arena, aproximadamente 30 % de limos y el resto de arcilla, además de un pH que oscile entre los 6 y 7,5 para un buen cultivo.

También es necesario buscar la máxima insolación evitando zonas con corrientes de viento, puesto que para la máxima productividad es necesaria una potente radiación solar.

Un factor importante a tomar en cuenta es la gran cantidad de agua necesaria para los cultivos protegidos, sin embargo, el título I establece claramente que Guatemala posee un alto potencial hídrico, mucho más que el Mediterráneo el cual es el principal usuario de invernaderos. Cabe mencionar que es importante el conocimiento de la temperatura del agua de riego pues no todas las hortalizas soportan los mismos niveles de temperatura, y sin los cuidados debidos puede destruirse la producción.

Debido al alto potencial hídrico necesario para el uso de cultivos protegidos, surge el uso del sistema de bombeo fotovoltaico, debido a que su finalidad es proporcionar el agua a los productos agrícolas. Unido entonces al hecho de proteger de la radiación solar elevada a las plantaciones y dotarlas del agua necesaria es que estos dos sistemas en unión son altamente factibles para el Corredor Seco.

- Invernaderos y túneles
 - Tipo parral (Almería, España)

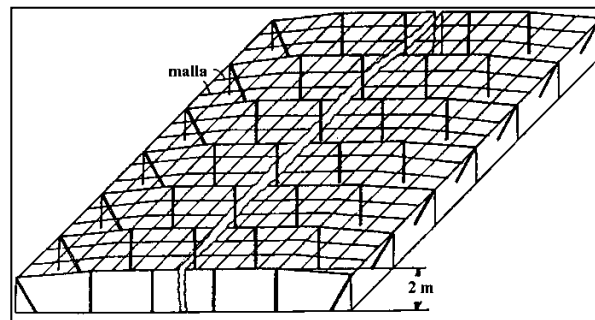
Su estructura está hecha de postes de madera que se apoyan en zapatas individuales elaboradas de cementos unidas por alambres de tensión que sirven como soporte de las redes de alambre. “La red inferior es de alambre (de 30 por 30 o de 20 por 40 centímetros de separación) y la red superior puede ser de cuerda plástica (40 por 40 centímetros de separación).”¹⁸

¹⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. p. 27.

Su instalación requiere de muchos cuidados y experiencia debido a problemas de viento o daños en el plástico. La pendiente del techo depende de la precipitación promedio anual de la región. Si la precipitación excede los 200 milímetros al año se debe tener en cuenta el porcentaje de incremento, pues si existe un período de lluvias elevado no es recomendable este tipo de invernadero.

Otros materiales con que puede construirse el invernadero tipo parral es con postes de metal, ventilados por medio de sus paredes laterales requiriendo un ancho mínimo de 30 a 40 metros.

Figura 34. **Invernadero tipo parral**



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. p. 31.

- Invernadero individual de forma arqueada

Es el más utilizado, soporta bien los cambios de viento sin embargo, no permite al igual que el invernadero tipo parral una ventilación adecuada. Es por ello que Francia ha desarrollado el invernadero de arco circular y ventilación cenital, no obstante no soporta las épocas de lluvias.

Estructura de madera para cubierta de doble película (Sicilia Italia).

Posee techo plano de madera con cubierta de película y doble capa para evitar pérdidas de calor por la noche.

- Estructura de madera (Creta)

Posee estructuras simples de madera y ventilación en los laterales. El clima no es adecuado debido a la altura reducida pero es resistente a los vientos. Existen otras estructuras que son una combinación de acero en sus elementos principales y madera en las correas.

- Invernadero con arcos apuntados (Chipre)

Existen invernaderos que colectan agua de lluvia almacenada en embalses cavados en tierra, para usarlo en sistema de riego posteriormente. El invernadero con arco apuntado permite usar cubiertas simples y doble cámara de aire.

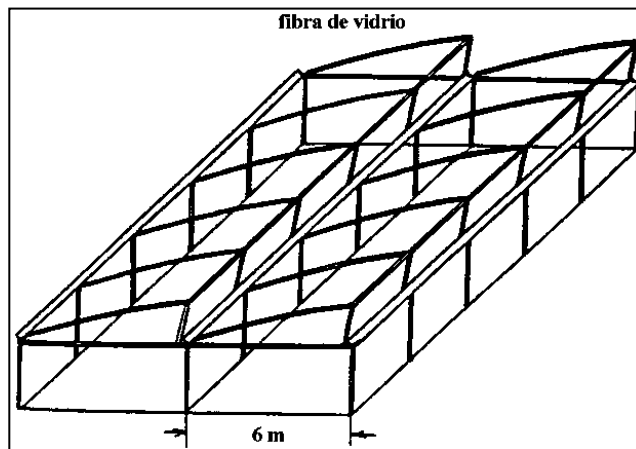
- Invernaderos de estructura ligera (Turquía)

El costo es bajo, poseen ventilación lateral y estructura de tubo de acero. Su techo es de forma redonda y son altamente eficaces.

- Estructura en diente de sierra (Israel)

Poseen cubierta de plástico y fibra de vidrio, para el tensado de la película plástica.

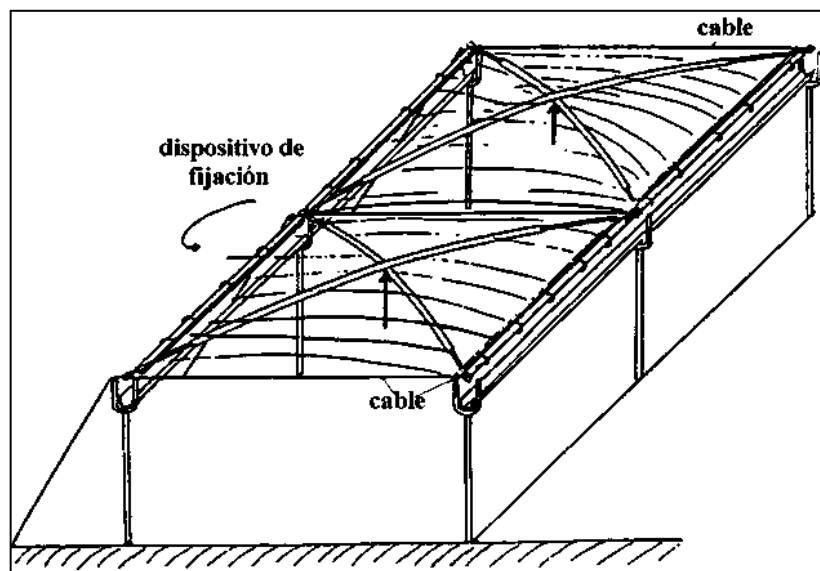
Figura 35. **Diente de sierra (Israel)**



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. p. 32.

- Estructura de techo inclinado con tensor cenital, (Israel): utiliza plásticos rígidos de policarbonato, película con lámina simple o doble cámara de aire.
- Construcción de acero, (Israel): se utilizan cuerdas de plástico que se sujetan a las barras de la estructura para tensar, presentando un diseño diferente de acero.
- Construcción con sistema de fijación con tubos de acero cruzados, (Israel): los tubos de acero se cruzan para poder elevar la estructura, presentando diámetro mayor pues así no pagan impuestos.

Figura 36. **Sistema de fijación con tubos de acero cruzados**



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
El cultivo protegido en clima mediterráneo. p. 41.

Es necesario tomar en cuenta la ventilación para cualquiera del diseño de invernaderos puesto que para una explotación agrícola eficaz, esta juega un papel muy importante en especial en zonas donde existe una radiación solar elevada. Cuando la ventilación no puede producirse de manera natural puede recurrir a una forma artificial que permitirá al cultivo de hortalizas producirse adecuadamente.

En el caso de los invernaderos de plástico la ventilación suele realizarse en las paredes laterales debido a que el costo es menor, ya que si bien lo recomendable es que se ventile desde el techo de forma continua, esta posee un costo excesivo para estructuras de plástico. En caso de recurrir a una ventilación forzada, lo más común son ventiladores los cuales deben colocarse en la dirección opuesta del viento sin poseer una velocidad excesivamente alta.

La finalidad de la ventilación es lograr que el invernadero mantenga una temperatura óptima que varía entre los 10 y 25 °C.

Por su uso, estructura y utilización el invernadero se convierte en una célula fotovoltaica, capaz de absorber la radiación y convertirla en energía solar. Si en algún momento se desea colocar un panel externo esto trae consigo muchas desventajas debido a que no es fácil su colocación en el invernadero, el costo es mayor y definitivamente requiere más trabajo.

Es por ello que se trata de conseguir que el mismo invernadero se convierta en un colector solar lo que trae consigo más ventajas que problemas, ya que no se ocupa tierra extra que bien puede ocuparse para cultivo y no se desaprovecha el sol. Aunque en la actualidad los invernaderos que utilizan la energía solar hacen uso de paneles solares fotovoltaicos.

China fue uno de los primeros países en innovar la energía solar en los invernaderos, colocando paneles fotovoltaicos en el techo, lo cual no solo evita hacer uso de la tierra, sino que por su colocación desvía la luz solar hacia las células fotovoltaicas, lo que incrementa el desarrollo de los cultivos.

México es uno de los países que utiliza los paneles solares para proveer energía para las máquinas y los sistemas de irrigación de los invernaderos, contribuyendo al ahorro energético y reduciendo la emisión de gases contaminantes. El uso de la energía solar lo están replicando en más de 600 proyectos de agricultura sustentable, pues también mejora las ganancias, ya que se evitan los cortes de luz que podrían parar la producción y generar pérdidas monetarias.

- Otros tipos de cultivo protegido

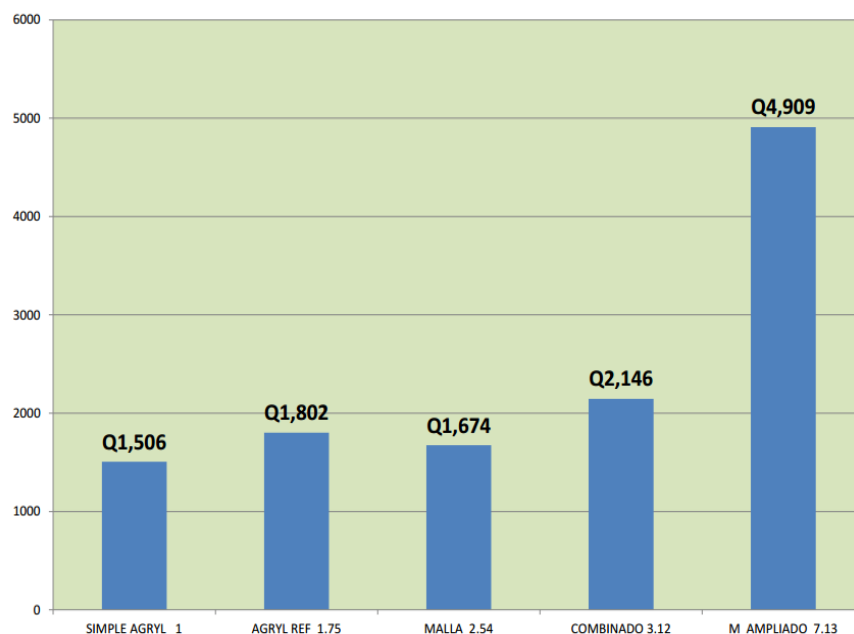
De acuerdo a una investigación de la Universidad del Valle de Guatemala, llevada a cabo en 2013, para un proyecto de desarrollo agrícola, el costo de inversión para estructuras similares a la de los cultivos protegidos oscilan entre los Q 2 000,00 y Q 10 000,00 dependiendo de los materiales con que estén contruidos.

Entre los tipos de estructuras para agricultura protegida se encuentran:

- Agryl: compuesto por 40 % de tinajo y riego, 30 % de plástico, 25 % de metal y 5 % de cemento.
- Agryl reforzado con tubo galvanizado: compuesto por 49 % de metal, 17 % de plástico, 11 % de cemento y 23 % de tinajo y riego.
- Malla antivirus: compuesto por 43 % de plástico, 34 % de metal, 16 % de tinajo y riego y 7 % de cemento.
- Combinado: compuesto por 50 % de plástico, 31 % de metal, 13 % de tinajo y riego y 6 % de cemento.
- Ampliado: compuesto por 45 % de plástico, 33 % de metal, 13 % de cemento y 9 % de tinajo y riego.

De acuerdo a dicha investigación, para cualquiera de los sistemas se tendrá un costo por ciclo productivo, es decir al momento de la cosecha se inicia un nuevo ciclo pues se debería empezar con la siembra de cultivos, también un costo por fertilización, por mano de obra, entre otros. Dichos costos varían según la estructura y material. A continuación se muestra la figura que contiene los costos por ciclo según el tipo de cultivo protegido que la Universidad del Valle de Guatemala maneja.

Figura 37. **Costo por ciclo según estructura de agricultura protegida**



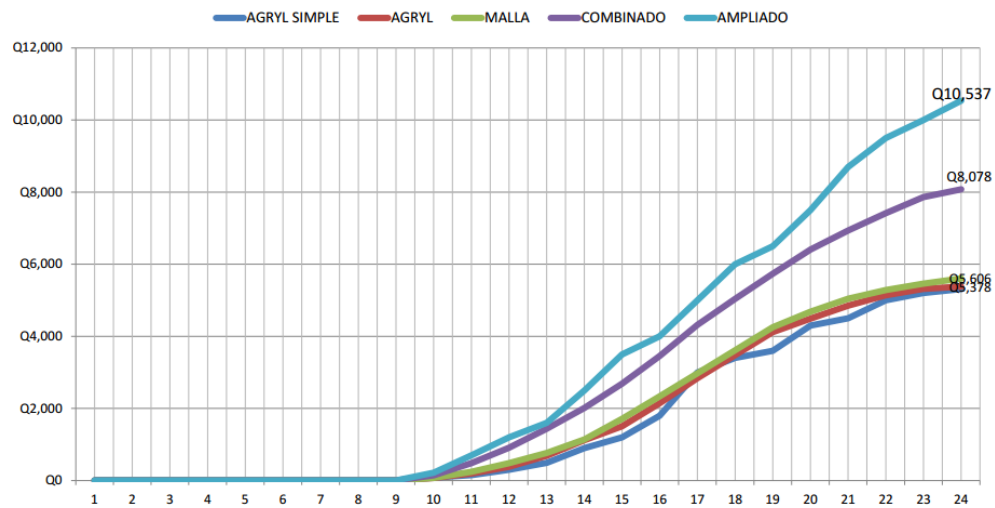
Fuente: Universidad del Valle de Guatemala. *Análisis económico de infraestructuras*. p. 30.

Tabla XXXIII. **Rentabilidad de distintos modelos de cultivo protegido**

	Costo de P.	Ingreso	Utilidad	Rentabilidad
Agryl	Q 3 396,6	Q 5 315,1	Q 1 916,44	56 %
Agryl R	Q 3 694,4	Q 5 378,4	Q 1 684,01	46 %
Malla	Q 3 566,4	Q 5606,4	Q 2 040,04	57 %
Combinado	Q 4 038,4	Q 8 078,4	Q 4 040,04	100 %

Fuente: Universidad del Valle de Guatemala. *Análisis económico de infraestructuras*. p. 30.

Figura 38. Ingresos de los distintos modelos de cultivo protegido



Fuente: Universidad del Valle de Guatemala. *Análisis económico de infraestructuras*. p. 17.

De acuerdo a los datos anteriores, la estructura malla presenta mayor rentabilidad por la utilidad que genera. No obstante desde el punto de vista económico, la mejor opción es utilizar la estructura Agryl, especialmente para pequeños productores.

4.4. Impacto en la población

Se espera que con el uso de energía solar en la agricultura se influya directamente en la población no solo del Corredor Seco sino también a nivel nacional, pues el alimento de la gran mayoría de población guatemalteca depende de hortalizas, especialmente de los dos granos básicos que son el maíz y el frijol. Con el uso de cualquiera de los sistemas de energía solar anteriormente mencionados, la población de la zona semiárida podría aumentar su potencial de producción, en especial a los sectores agrícolas. Asimismo,

impactaría directamente en los altos índices de pobreza pues la población tendría oportunidades laborales y por consiguiente recursos económicos.

Los índices de desnutrición infantil y enfermedades originadas por el agua disminuirían debido a la producción de alimentos que permitirían mantener la seguridad alimentaria, y se mantendría un cuidado del agua a través de los sistemas de riego lo que garantizaría un mejor desarrollo y calidad de vida humana. La migración no sería tan recurrente y se estabilizarían los precios del maíz, grano indispensable en la alimentación de la población, así como de otros alimentos.

El impacto por lo tanto no alcanzaría solamente a la población de los departamentos susceptibles a la sequía, sino a todos los guatemaltecos quienes serían testigos de los efectos positivos del uso de energías renovables en la agricultura, siempre y cuando vengan acompañados de un entrenamiento para el uso y mantenimiento de estos sistemas, debido a que en Guatemala no se cuenta con equipo nacional capaz de instalar y mantener en su totalidad proyecto de energía renovable, lo que hace necesaria la mano de obra extranjera.

4.5. Ahorro energético

Debido al déficit de información del costo de cultivos protegidos el análisis se realizará con base en los sistemas de bombeo fotovoltaico.

Tabla XXXIV. **Costo sistema de bombeo**

	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Bomba Grundfos 11-SQF 2	1 u	Q 15 851.99	Q 15 851,99
2	Control de carga CU 200	1 u	Q 3 193.96	Q 3 193,96
3	Paneles solares Kyocera KC 65T	5 u	Q 4 288.90	Q 21 444,50
4	Cable interconexión de paneles y hacia la bomba T5J 2*8	20 m	Q 15,40	Q 308,00
5	Estructura para los paneles más fundición	5 u	Q 200,00	Q 1 000,00
6	Supresor de rayos	1 u	Q 308,00	Q 308,00
7	Interruptor de nivel de mercurio más cable paralelo # 10 de tanque a control de bomba por metro	1 u	Q 754,00	Q 754,00
8	Instalación que considera 2 instaladores durante dos días más supervisor	1	Q 2 304,00	Q 2 304,00
TOTAL				Q 45 164,45

Fuente: Ferretería Novex. *Paneles solares como fuente de energía eléctrica para sistemas de mini riego en producción de hortalizas en departamento de Quiché.* p. 16.

A los anteriores costos cercanos a los Q 45 200 dependerán de la potencia que se le quiera suministrar al sistema de bombeo. Si bien el costo de inversión es alto, el sol que es la base para un sistema fotovoltaico representa un costo igual a cero, lo que significa que el tiempo de recuperación de la inversión es mínimo.

Según datos de Baja Verapaz y su implementación del sistema, se recupera dicha inversión en un plazo de dos años, siendo constantes los costos de mantenimientos que son relativamente mínimos. Cabe señalar que el costo de un sistema de bombeo incrementaría si los motores funcionaran a base de energía eléctrica, puesto que se le agregaría el costo por kilovatio hora, que cobra la empresa distribuidora de energía, en la que el precio varía según departamento. Ejemplo de ello son los tarifas que se cobran por la electricidad.

Tabla XXXV. **Precio de la energía eléctrica en kilovatios por hora**

Precio de la Energía Eléctrica	
Departamento	Precio Kw/h
Jalapa	Q 2,25
Jutiapa	Q 2,25
El Progreso	Q 1,75
Chiquimula	Q 1,75
Baja Verapaz	Q 2,26
Zacapa	Q 1,75
Quiché	Q 1,42

Fuente: INE. *Caracterización departamental*. p. 15.

De acuerdo a la tabla anterior se estima que con el uso de energía solar se disminuye los costos del uso de energía eléctrica para los motores y bombas que conlleva en sistema de bombeo así como los costos de irrigación y calefacción de horas sin luz en los invernaderos, en un 100 % debido al uso completo de la radiación solar.


La empresa estadounidense Lorentz con sucursal en Guatemala, se dedica a la venta de sistemas de bombeo fotovoltaico, dicha empresa cuenta con un programa que permite estimar el ahorro energético por el uso del sol para generar electricidad en el sistema de bombeo versus el uso del diesel, únicamente proporcionando la ubicación del lugar donde se pretende implementar, la profundidad y el caudal.

A manera de ejemplo se propone una comparativa de precios para un sistema que beneficiará a una familia dueña de una parcela, en la que se espera extraer agua a 10 metros bajo tierra y con un caudal de 20 metros cúbicos por día.

Figura 39. **Captura condiciones de sistema de bombeo**

Solar v Diesel Calculator

Your Situation

Your location 

Depth of water source m

Water needs per day m³

Current fuel cost per day USD

Savings

By moving to a LORENTZ solar pumping solution you would

- break even in **9 months**.
- saving you approx. **USD 11,769** over the next 3 years and
- USD 160,717** over the lifetime of the solution

Fuente: *Aplicaciones*. <https://www.lorentz.de/es/aplicaciones/solar-o-gasoleo.html>.

Consulta: enero de 2016.

En la imagen anterior se asignó a Asunción Mita como la ubicación para colocar el sistema de bombeo, generando automáticamente el programa que el punto de equilibrio es decir el momento en que se recupera lo invertido será de 9 meses, ahorrando 11 769 dólares dentro de los próximos 3 años.

Figura 40. **Costo de inversión solar vs. diesel**

Solar v Diesel Calculator

For your current diesel solution

Annual fuel price increase %

Fuel delivery costs per week USD

Annual service cost USD

Replacement pump cost USD

Replacement generator costs USD

Life of diesel pump years

Life of diesel generator years

For your LORENTZ solution

Cost of solar pump system USD

Cost of solar generator USD

Life of solar pump system years

Typical service cost USD

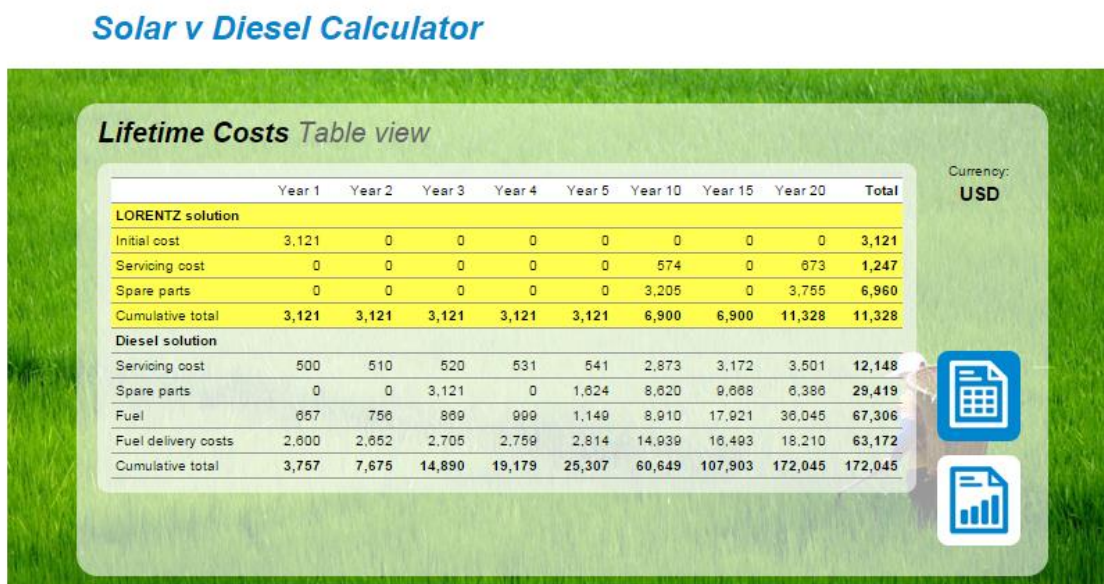
General

General price inflation rate %

Fuente: *Aplicaciones*. <https://www.lorentz.de/es/aplicaciones/solar-o-gasoleo.html>.

Consulta: enero de 2016.

Figura 41. **Proyección de costos en 20 años**



Fuente: *Línea de costos*. <https://www.lorentz.de/es/aplicaciones/solar-o-gasoleo.html>.

Consulta: enero de 2016.

De acuerdo a la figura 38 y 39 se observan los costos de inversión que tiene un sistema de bombeo solar y su tiempo de vida útil antes de hacer mantenimiento, así como los costos a base de utilizar diésel. El ahorro anual sería visiblemente menor al utilizar la energía solar, lo cual proyectado a 20 años se convertiría en un ahorro de más de 160 000 dólares según moneda usada por el programa.

Con regularidad las familias del área rural son las que utilizan la leña para cocinar y generar calefacción. Según el INE el 60 % de la población utiliza la leña para esos usos. No obstante el enfoque de esta investigación no es la generación de electricidad para hogares, sin embargo, con el uso de los sistemas fotovoltaicos puede disminuirse el consumo de leña, puesto que al momento de no utilizarse para el riego de cultivos por temporada de cosecha,

dichos paneles que forman el sistema pueden ser de utilidad para generar energía.

Asimismo, el cultivo protegido funciona como un colector solar, el cual permite dotar al panel del sol que necesita para funcionar y este a su vez cumplir con la tarea de brindar luz. Los valores estimados de consumo de leña se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XXXVI. **Consumo de leña en metros cúbicos/persona/año**

Departamento	Urbana	Rural	Departamento	Urbana	Rural
Guatemala	0,7	2,2	San Marcos	1,3	4,2
El Progreso	0,6	2,7	Huehuetenango	2,3	4,6
Sacatepéquez	1,1	3,1	Quiché	2,3	3,5
Chimaltenango	1,1	3,6	Baja Verapaz	0,9	3,4
Escuintla	0,9	3	Alta Verapaz	0,8	2
Santa Rosa	1,4	2,6	Petén	1,9	2,4
Sololá	1,4	3,9	Izabal	0,4	2,1
Totonicapán	1,5	3,5	Zacapa	0,6	2,3
Quetzaltenango	1,1	4,4	Chiquimula	0,7	2,6
Suchitepéquez	1,1	3,6	Jalapa	1,4	2,5
Retalhuleu	1	3,7	Jutiapa	0,8	2,4

Fuente: LARRAÑAGA, Marcos Martín; FLORES MARCO. *Noelia. Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala*. p. 19.

Según el estudio de Rolando Zanotti subgerente del INAB, basado en el censo del INE 2006, determina que anualmente se consumen 19 456 552 metros cúbicos sólidos de leña, con un valor aproximada de Q 11 054 859 000 (US\$ 1 473 981 200). De acuerdo a los cálculos por familia se incurre en un gasto promedio de 1,77 metros cúbicos de leña al mes utilizándola para la cocción de alimentos y calefacción.

- Precios de la leña
 - Cobán, Alta Verapaz: las especies que más se comercializan son encino y arrayán. Precio promedio de tarea Q 112,00.
 - Playa Grande, Ixcán, Quiché: se comercializa la leña de lagarto, caspirol, medalla, ujuxte, canxan, rosul, marío, tamarindo. Precio promedio tarea Q 143,00.
 - Zacapa: se comercializa el pino y encino. Precio Q 300,00.
 - Santa Rosa: encino, pino colorado, cuje, ciprés, ujuxte y madre cacao. Precio promedio Q 163,00.
 - Sacatepéquez: se utiliza aliso, encino, pino, gravilea y ciprés. Precio promedio Q 213,00.

Tabla XXXVII. **Consumo y costo anual de leña por familia por metro cúbico**

Departamento	Consumo anual por familia	Costo anual por m ³	Departamento	Consumo anual por familia	Costo anual por m ³
Guatemala	14,5	Q 2 471,53	San Marcos	27,5	Q 4 687,38
El Progreso	16,5	Q 2 812,43	Huehuetenango	34,5	Q 5 880,53
Sacatepéquez	21	Q 3 579,45	Quiché	29	Q 4 943,05
Chimantén	23,5	Q 4 005,85	Baja Verapaz	21,5	Q 3 664,68
Escuintla	19,5	Q 3 323,78	Alta Verapaz	14	Q 2 386,30
Santa Rosa	20	Q 3 409,00	Petén	21,5	Q 3 664,68
Sololá	26,5	Q 4 516,93	Izabal	12,5	Q 2 130,63
Totonicapán	25	Q 4 261,25	Zacapa	14,5	Q 2 471,53
Quetzaltenango	27,5	Q 4 687,38	Chiquimula	16,5	Q 2 812,43
Suchitepéquez	23,5	Q 4 005,58	Jalapa	19,5	Q 3 323,78
Retalhuelu	23,5	Q 4 005,58	Jutiapa	16	Q 2 272,20

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. *Estudio de factibilidad acerca del uso de estufa solar con panel fotovoltaico*. p. 45.

Es importante no olvidar que se disminuye el costo de energía eléctrica al utilizar la energía solar, debido a los precios impuestos por kilovatios por hora en sectores del Corredor donde si llega la electricidad.

5. ANÁLISIS AMBIENTAL Y USO DE ENERGÍA SOLAR EN EL CORREDOR SECO

5.1. Teoría y conceptos generales

Al hablar de análisis ambiental se está refiriendo al análisis del impacto ambiental y ecológico de un proyecto, evaluando sus consecuencias antes de llevarlo a cabo. Teniendo en cuenta las condiciones orográficas, geográficas y climáticas de la región, así como el medio biótico es decir los individuos, flora y fauna, sin dejar a un lado aspectos del medio socioeconómico.

5.2. Impacto potencial

Tres son los aspectos a evaluar en el impacto potencial: medio físico, biótico y socioeconómico, pues ellos representan la raíz del desarrollo humano de una población.

5.2.1. Medio físico

La energía solar fotovoltaica no contamina, ni produce ruido ni polución, siendo ideal para áreas rurales en donde se cuida el medio ambiente, los suelos y la vegetación. No obstante al momento de la construcción surgen emisiones de combustibles fósiles, estimándose que por cada kilovatio hora producido se originan de 15 a 70 gramos de dióxido de carbono (tabla XXXVIII).

Tabla XXXVIII. **Impacto ambiental de energía fotovoltaica**

Parámetro	Valor (kWp)	Valor (kg/TJ)
CO ₂ (kg/TJ)	0	0
SO ₂ (kg/TJ)	0	0
Nox (kg/TJ)	0	0
Partículas (kg/TJ)	0	0
VOCs (kg/TJ)	0	0
En la construcción CO ₂ (kg/TJ)	432-2138	4000-200000
En la construcción SO ₂ (kg/TJ)	5,47-6,76	75-95
En la construcción Nox (kg/TJ)	4,52-6,07	61-83

Fuente: CREUS SOLÉ, Antonio. *Energías renovables*. p.16.

- Desventajas

Los materiales con que son fabricadas las células fotovoltaicas se encuentran fácilmente en la tierra como lo es el caso del silicón, lo que significa que la tierra no requiere de perforación y los efectos ambientales son muy reducidos. Sin embargo, el cadmio es uno de los materiales que también se utilizan y en su caso si es sumamente tóxico, no obstante es utilizado en cantidades pequeñas y las instituciones que hacen uso de ellas o las elaboran, implementan programas de reciclaje con el fin de no dañar el medio ambiente.

Otro de los factores a tomar en cuenta es el espacio que ocupan los paneles solares pues mientras más energía solar se quiere capturar, mayor serán el número de celdas que se necesiten implementar, lo que puede ocupar el espacio anteriormente establecido para agricultura, ganado u otras técnicas. Por ello es conveniente que los paneles sean colocados en áreas donde la tierra no es fértil o en los techos, ya que se evita ocupar un espacio que podría ser útil, además de la tala de árboles para evitar la sombra.

- Ventajas
 - Lo ideal en el uso de energía solar es que no produce emisiones de carbono, por lo tanto no se quemar petróleo debido a que es un tipo de energía benigna, tampoco genera residuos físicos y no destruye la tierra por no necesitar que esta sea explotada para extraer carbón como lo hace la generada a partir de combustibles fósiles.
 - Las cosechas no se ven afectadas por lluvia, rocío o neblina y la erosión del suelo disminuye.
 - La lluvia que cae al suelo es menos ácida, es decir su pH se mantiene relativamente neutro.

5.2.2. Medio biótico

Según proyecciones del INE, la causa principal de muertes en áreas del Corredor Seco es por neumonía e infartos, y las principales causas de asistencia a servicios de salud públicos son por problemas respiratorios.

Figura 42. Principales causas de mortalidad en el Corredor Seco

Principales causas de muerte por enfermedades						
Departamento	Primer Lugar	porcentaje	Segundo Lugar	porcentaje	Tercer lugar	porcentaje
Quiché	Neumonía	34,7	Diarrea	18,6	Infarto agudo	7,6
Baja Verapaz	Neumonía	26,9	Infarto agudo	19,7	Accidente vascular encefálico	13,8
El Progreso	Infarto agudo	27,7	Diabetes	13,9	Neumonía	11,9
Zacapa	Infarto agudo	24,4	Diabetes	12,4	Neumonía	9,6
Jalapa	Infarto agudo	19,1	Neumonía	16,3	Accidente vascular encefálico	10,9
Jutiapa	Infarto agudo	25,5	Neumonía	9,9	Accidente vascular encefálico	9,9
Chiquimula	Infarto agudo	19,3	Neumonía	16,4	Insuficiencia cardíaca	9,8

Fuente: elaboración propia, con base en los datos del INE.

Tabla XXXIX. Principales causas de morbilidad en el Corredor Seco

Principales causas de morbilidad						
Departamento	Primer Lugar	porcentaje	Segundo Lugar	porcentaje	Tercer lugar	porcentaje
Quiché	Resfriado común	30	Diarrea aguda	13	Parasitosis intestinal	10,1
Baja Verapaz	Resfriados	32,3	Gastritis	11,5	Infecciones respiratorias agudas	11,2
El Progreso	Resfriados	24,3	Amigdalitis	16,4	Infección urinaria	11,9
Zacapa	Resfriado común	23,1	Amebiasis	18,1	Parasitosis intestinal	12
Jalapa	Resfriado común	30,5	Gastritis	13,5	Infección urinaria	11,3
Jutiapa	Resfriado común	26,8	Infección urinaria	14,6	Gastritis	11
Chiquimula	Resfriado común	23,3	Infección respiratoria	11,5	Parasitosis intestinal	10,8

Fuente: elaboración propia, con base en los datos del INE.

Con base en los datos de las tablas anteriores se demuestra que el uso desmedido de la leña y la emisión de gases contaminantes está provocando efectos nocivos en la población, pues la mayor parte de las enfermedades incurren en problemas respiratorios, cardiacos o intestinales, originados por la inseguridad alimentaria, la contaminación del aire, agua y suelos, en los cuales el uso de la energía solar funciona como una forma de mitigación ante esas problemáticas las cuales van más allá de no contribuir con la destrucción del planeta, sino ser una solución y un motivo de desarrollo en el nivel de vida de la población.

- Fauna y flora

Al no contribuir con el efecto invernadero, la energía solar permite que los ecosistemas permanezcan en equilibrio y las especies intactas no contribuyendo a su extinción. Asimismo, crece la productividad agrícola interviniendo en el aumento de vegetación y alimentación de animales.

5.2.3. Medio socioeconómico

El sector agrícola es el principal afectado por la sequía del Corredor Seco, es por ello la importancia en esta investigación. Representa una de las actividades más relevantes del PIB, específicamente cuarta en posición a nivel nacional.

Con el uso de energía solar como alternativa de desarrollo agrícola, se espera que las cosechas aumenten, produciendo mayores ingresos económicos, pues en temporadas del año en las que antes no se podía cosechar, con el uso del sistema a base de energía solar se espera que se tenga la posibilidad de incrementar las cosechas anuales.

A manera de análisis y ejemplificando lo anterior, se desglosa a detalle el sector agrícola en Jutiapa y sus municipios. Los principales productos que produce Jutiapa son el frijol, chile pimiento, cebolla, arroz y tomate. De los cuales el 13 % de producción a nivel nacional le corresponden al frijol, 15 % al arroz, 18 % a la cebolla, 22 % al chile pimiento y 20 % al tomate. Cabe señalar que si bien el maíz no es uno de los principales granos que produce Jutiapa, si es uno de los más utilizados a manera nacional, por representar un alimento base en toda familia guatemalteca, por ello también se efectuará un análisis de dicho grano.

Tabla XL. **Producción agrícola en el departamento de Jutiapa en quintales sin uso de energía solar en 2014**

Producto	Tiempo de siembra	Tiempo de mayor Cosecha	Temporada de heladas	Canícula	Producción de Jutiapa en quintales	Producción nacional en quintales
Frijol negro	nov-dic	feb-marz	dic-marzo	jul-agos	673 595	5 181 500
	mayo-jun	agosto-dic				
	agos-sept					
Arroz	may-jul	agosto-dic			109 935	732 900
Maíz blanco	febr-Jun	agosto-dic			2 850 687	40 724 100
	nov-dic	enero-marz				
Cebolla	Todo el año				529 830	2 943 500
Chile pimiento	Todo el año				266 552	1 211 600
Tomate	Todo el año				1 424 740	7 123 700

Fuente: elaboración propia, con base a los datos del documento El Agro en cifras MAGA 2014.

Con los datos anteriores basados en el 2014, por falta de información tabulada por parte del MAGA, se visualiza que existen productos que son cosechados a lo largo del año. Sin embargo, los tres granos básicos de la alimentación guatemalteca son los principales afectados con el cambio

climático, ya sea por las heladas o sequía donde las temperaturas son elevadas.

Es por ello que utilizando el sistema de bombeo fotovoltaico para el desarrollo agrícola, se pueden sembrar en fechas que antes no se tenían pronosticadas y por ende incrementar la cosecha. No obstante esta proyección está basada en el departamento de Jutiapa en los tres granos básicos principales, sin embargo, claramente se observa el impacto que tendría el uso de energía solar en la agricultura.

Tabla XLI. Proyección de producción agrícola en Jutiapa con uso de energía solar para 2015-2016

Producto	Número de cosechas sin energía solar	Número de cosechas con energía solar	Producción agrícola de Jutiapa en quintales sin energía solar	Producción en Jutiapa con energía solar	Crecimiento
Frijol negro	3	4	673 595	898 126	25 %
Arroz	1	2	109 935	219 870	50 %
Maíz blanco	2	3	2 850 687	4276 030	33 %
					Promedio = 36 %

Fuente: elaboración propia, con base en El Agro en cifras MAGA.

Según la tabla anterior el incremento en la cosecha de los granos básicos puede oscilar entre el 36 % como mínimo, lo que en definitiva beneficia a la población pues contaría con mayores ingresos económicos, y en temporadas donde dichos granos aumentan el precio por presentar una baja de cosecha, ahora estabilizarían el precio y el efecto positivo del uso de la energía solar se propagaría de manera nacional.

Cuando se habla de generar oportunidades de empleo en la población se tiene en cuenta que al momento de instalar este tipo de energía y ponerla en práctica, la actividad agrícola se incrementará y por ende las cosechas se dan más veces al año. Con una explotación agrícola altamente eficiente, se garantiza el resultado del aumento de fuentes de empleo.

Pensado de manera optimista Guatemala puede llegar a ser uno de los grandes exportadores a nivel mundial de distintas hortalizas y con esto aumentar su economía a niveles que antes no se pensaban y convertir un país subdesarrollado en uno que aprovecha el potencial con el que cuenta y genera oportunidades de crecimiento.

CONCLUSIONES

1. El Corredor Seco de Guatemala presenta su mayor problemática en la agricultura debido al cambio climático, afectando cerca de 276 000 familias en una extensión territorial de más de 10 000 kilómetros cuadrados. No obstante la tierra es conocida como semiárida debido a que las precipitaciones anuales oscilan en los 700 milímetros, es decir presentan lluvias en su territorio mayores a las de una región árida.
2. El 70 % de la población económicamente activa de la zona semiárida se dedica a la agricultura, la cual afectada por la sequía ha disminuido su producción entre el 55 y 100 % de los granos básicos frijol y maíz, especialmente en regiones del Quiché.
3. La matriz energética actual de Guatemala está compuesta por más de un 50 % de uso de leña, lo que aumenta las variaciones climáticas, el resto lo ocupan los derivados del petróleo y las hidroeléctricas y en una minoría la energía solar y eólica. Se estima que para 2017 la matriz estará compuesta por las hidroeléctricas con un 41,3 %, la energía solar 2,3 %, la energía eólica 2,6 % y el resto la leña y los derivados de petróleo.
4. La gran mayoría de los proyectos de carácter solar llevados a cabo en Guatemala, son sufragados con inversiones extranjeras, en los cuales el Gobierno juega un papel netamente legal, con entidades como MEM y CNEE, mismo que se ve reflejado en los 4 proyectos a gran escala

desarrollados en el Corredor Seco, llevados a cabo por organizaciones privadas.

5. Por su posición y características geográficas así como los promedios de radiación solar generados por el programa computacional Swera_Gst, se estima que en su totalidad el Corredor Seco es apto para el uso de energía solar, no obstante Jutiapa, y sus municipios Asunción Mita y Agua Blanca, presentan las mayores radiaciones anuales con un promedio de potencia solar de 5,77 kilovatios hora por metro cuadrado por día.
6. De acuerdo a los problemas del Corredor Seco, los sistemas fotovoltaicos representan la alternativa más adecuada, los cuales pueden ser desarrollados a través de proyectos como los sistemas de bombeo fotovoltaico y el uso de cultivos protegidos, mismos que pueden incrementar la agricultura de los granos básicos: frijol, maíz y arroz en un 36 % anualmente, según la proyección 2015-2016 basada en las cifras del MAGA.
7. El uso de la energía solar y los sistemas fotovoltaicos no producen emisiones de carbono debido a que es un tipo de energía benigna, que no genera residuos físicos y no destruye la tierra por no necesitar que esta sea explotada para extraer carbón y se disminuye la erosión del suelo. Lo que contribuye a disminuir las muertes por enfermedades respiratorias cuales ocupan la primera causa de muerte en el Corredor Seco con un promedio de 35 %, según estadísticas del INE.

RECOMENDACIONES

A entidades públicas y privadas:

1. Usar los sistemas de generación eléctrica provenientes del sol, como alternativa de solución ante el cambio climático, generador de fenómenos meteorológicos que incrementan la pobreza, desnutrición, enfermedades, oportunidades académicas, entre otros. Teniendo siempre presente que la instalación de los sistemas fotovoltaicos debe contar con regiones planas, es decir carentes de vegetación, montañas o valles, lo que garantiza la mayor calidad de los paneles, debido a la mejor inclinación del ángulo y el mayor cuidado de tierras fértiles.
2. Enfocar las soluciones en el tema de agricultura, por ser la base de empleo y alimentaciones de la población. Es decir no limitar la ideología del uso de energías renovables a la obtención de electricidad para los hogares, sino también ser una fuente generadora de oportunidades.
3. Realizar mayores proyectos solares en el departamento de Jutiapa, directamente en los municipios de Asunción Mita y Agua Blanca, por presentar los mayores promedios de radiación solar.
4. Hacer uso de sistemas de bombeo fotovoltaico para regar cultivos o sistemas de cultivo protegidos para resguardar las hortalizas, lo que permitiría incrementar la productividad de los cultivos en cualquiera de las tecnologías utilizadas especialmente en los granos básicos.

5. Contribuir con el ambiente a través de proyectos solares que disminuyen el consumo de leña y por ende se muestra un déficit de impactos negativos en el ambiente lo cual representa una forma de mitigación del cambio climático lo que beneficia al medio físico y biótico pues se disminuyen las enfermedades respiratorias.
6. Gobierno y MEM: contribuir con la diversificación de la matriz energética a través del uso de energías renovables, lo que puede ser traducido en disminución de precios de la electricidad, mayor calidad de la misma y menor impacto ambiental ocasionado por el uso de combustibles fósiles y leña para producir electricidad.
7. Gobierno: creación de mayores incentivos y participación por parte del mismo, en los proyectos que conlleven el uso de fuentes de energía renovables, preocupándose por contribuir con los conocimientos para la población en términos de mantenimiento para proyectos y formas de siembra y cuidado de la tierra y así garantizar un tiempo elevado de vida útil en los sistemas instalados y mayor producción agrícola.
8. Entidades públicas: incrementar el acceso a la información pública por parte de los ministerios así como los estudios municipales de los departamentos, especialmente en temas de agricultura, potencial solar, eólico y económico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable (NTGDR) y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía*. Guatemala: CNEE, 2008.
2. CONDE, Cecilia. *México y el cambio climático global*. México: 2009. 19 p.
3. CREUS SOLÉ, Antonio. *Energías renovables*. 2a ed. España: Ceysa, 2012. 128 p.
4. Instituto Nacional de Estadística. *Caracterización departamental Chiquimula*. Guatemala: INE, 2012.
5. _____. *Caracterización departamental Baja Verapaz*. Guatemala: INE, 2012.
6. _____. *Caracterización departamental El Progreso*. Guatemala: INE, 2012.
7. _____. *Caracterización departamental el Quiché*. Guatemala: INE, 2012.
8. _____. *Caracterización departamental Jalapa*. Guatemala: INE, 2012.

9. _____. *Caracterización departamental Jutiapa*. Guatemala: INE, 2012.
10. _____. *Caracterización departamental Zacapa*. Guatemala: INE, 2012.
11. LARRAÑAGA, Marcos Martín; FLORES MARCO, Noelia. *Oferta y demanda de leña en la República de Guatemala*. Guatemala: Gremial de Editores de Guatemala: 2012. 19 p.
12. Ministerio de Energía y Minas. *Reglamento de la ley General de Electricidad, Acuerdo gubernativo número 256-97*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 1997. 44 p.
13. _____. Dirección General de Energía. *Decreto Número 52-2003 Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable. Acuerdo Gubernativo No. 211-2005*, Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 2005. 120 p.
14. _____. *Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 2005. 13 p.
15. _____. *Reglamento Orgánico Interno: Acuerdo Gubernativo Número*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 2003. 56 p.
16. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *El cultivo protegido en clima mediterráneo*. Roma: FAO, 2002. 27 p.

17. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. *Plan de Desarrollo Departamental*. Guatemala: Segeplan, 2011. 46 p.
18. _____. *Plan de Desarrollo Municipal*. Guatemala: Segeplan, 2011. 32 p.
19. Universidad del Valle de Guatemala. *Análisis económico de infraestructuras*. Guatemala: UVG, 2013. 24 p.
20. Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico en Guatemala*. Guatemala: URL, 2005. 32 p.

APÉNDICES

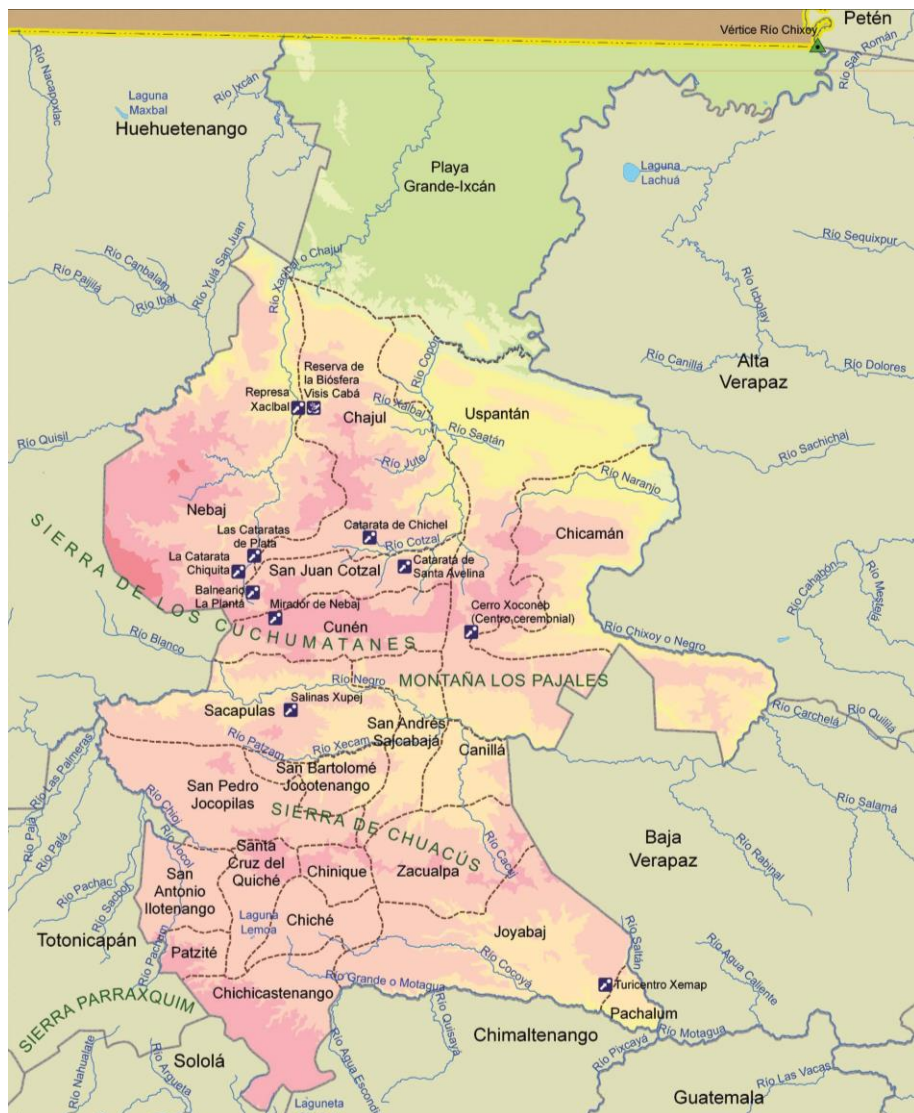
Apéndice 1. Matriz de objetivos uso de energía solar en el Corredor Seco

	RESUMEN NARRATIVO	IMPACTOS	EFFECTOS	METAS	INDICADORES
OBJETIVO DE DESARROLLO	Recopilar información sobre el uso de la energía solar en el corredor seco	Alternativa de solución ante el cambio climático	disminuir problemas de sequía y subdesarrollo agrícola	Desarrollo agrícola	número de cosechas anuales
OBJETIVO ESTRATÉGICO	Identificar el departamento y municipio más apto para el uso de energía solar y sistemas tecnológicos propicios para la zona y su impacto biótico, físico y socioeconómico	Creación de proyectos de carácter solar en la región	Incrementar el número de empleos, seguridad alimentaria y disminución de enfermedades	Incrementar la productividad agrícola anual de granos básicos, frutas y hortalizas	Número de pacientes en hospitales por desnutrición y enfermedades respiratorias. Número de empleos generados anualmente.
OBJETIVO OPERATIVO	Divulgar la información a entidades gubernamentales y privadas		Crear conciencia de la importancia de las energías renovables en Guatemala	Estudio de factibilidad del uso de energía solar en Jutiapa en los municipios de Agua Blanca o Asunción Mita.	
ALCANCE	Corredor Seco de Guatemala	Contribuir con el desarrollo agrícola	Mayor número de fuentes de empleo y cosechas anuales	Implementación de sistemas fotovoltaicos en la región del corredor seco	Número de siembras y cosechas anuales de productos agrícolas Precio de los granos básicos, hortalizas y legumbres
RECURSOS FÍSICOS	Recursos hídricos (lagos, ríos, riachuelos)	Disminuir la sequía	Producir cultivos agrícolas	Extraer agua subterránea para sistemas de bombeo	Profundidad del agua subterránea
RECURSOS HUMANOS	Empresas privadas y públicas extranjeras y nacionales para instalación y mantenimiento de proyectos			Instalación y mantenimiento de sistemas solares	Número de personas expertas en tecnología solar
RECURSOS FINANCIEROS	De acuerdo al sistema a implementar Q 45 000 aproximadamente			Disminuir costos por medio de la energía solar y recuperar la inversión en menos tiempo	Tiempo de recuperación de la inversión

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

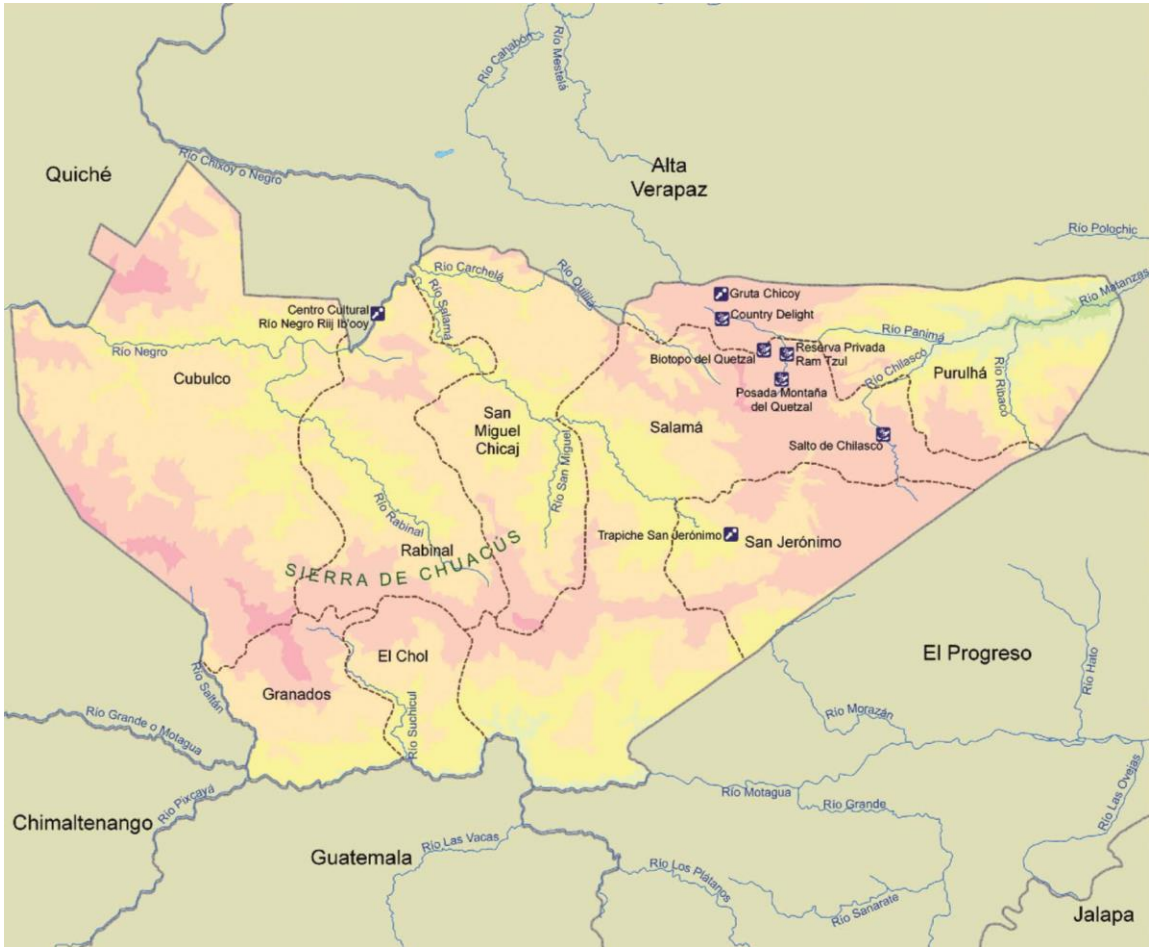
Anexo 1. Mapa de los municipios de Quiché



Fuente: *Municipios de Quiche*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

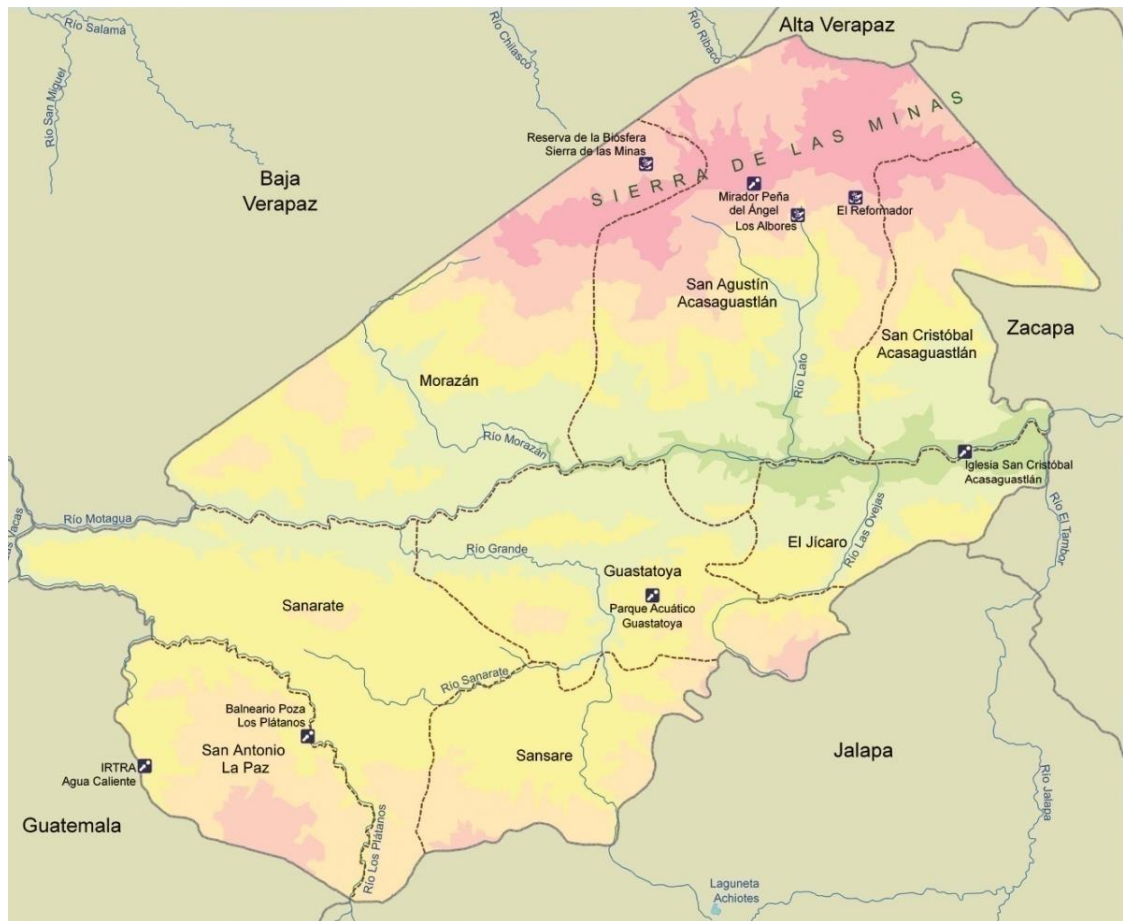
Anexo 2. Mapa de Baja Verapaz



Fuente: *Municipios de Baja Verapaz*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

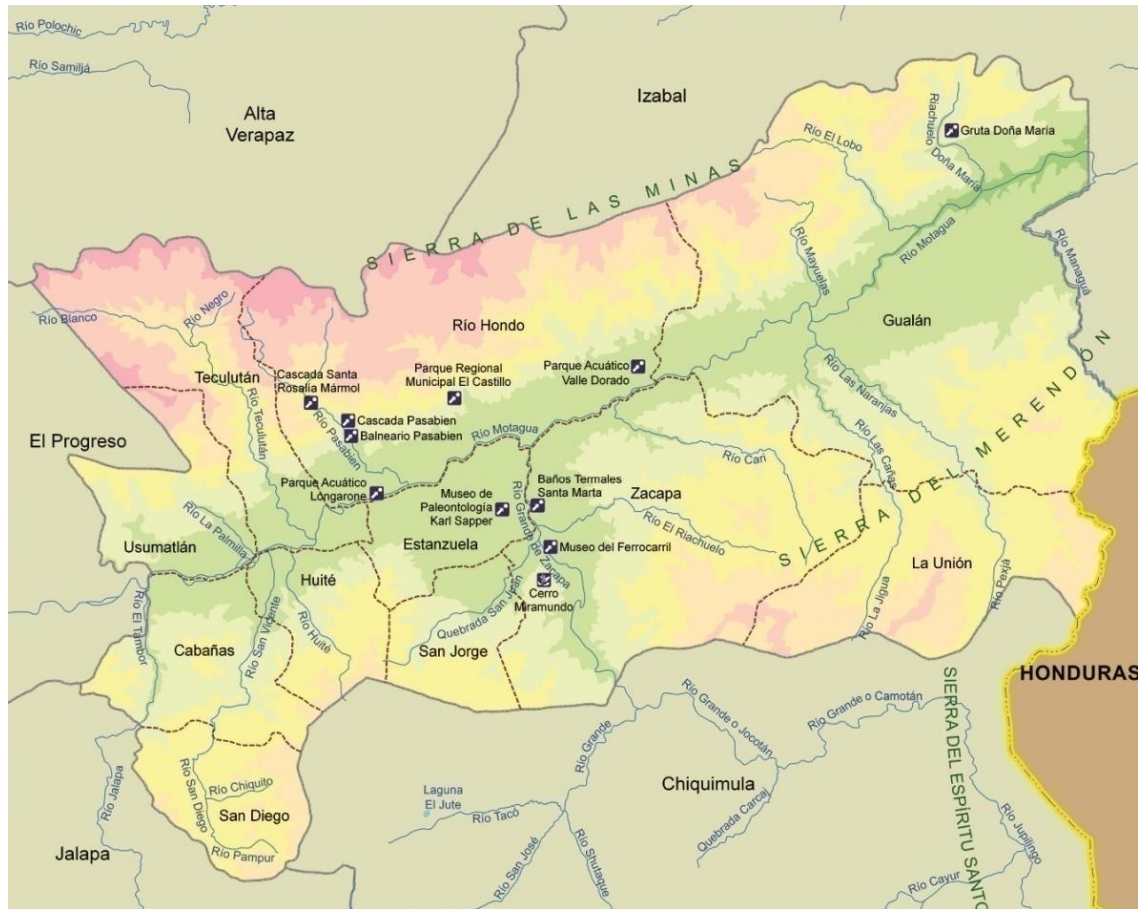
Anexo 3. Mapa de El Progreso



Fuente: *Municipios de El Progreso*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

Anexo 4. Mapa de Zacapa



Fuente: *Municipios de Zacapa*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

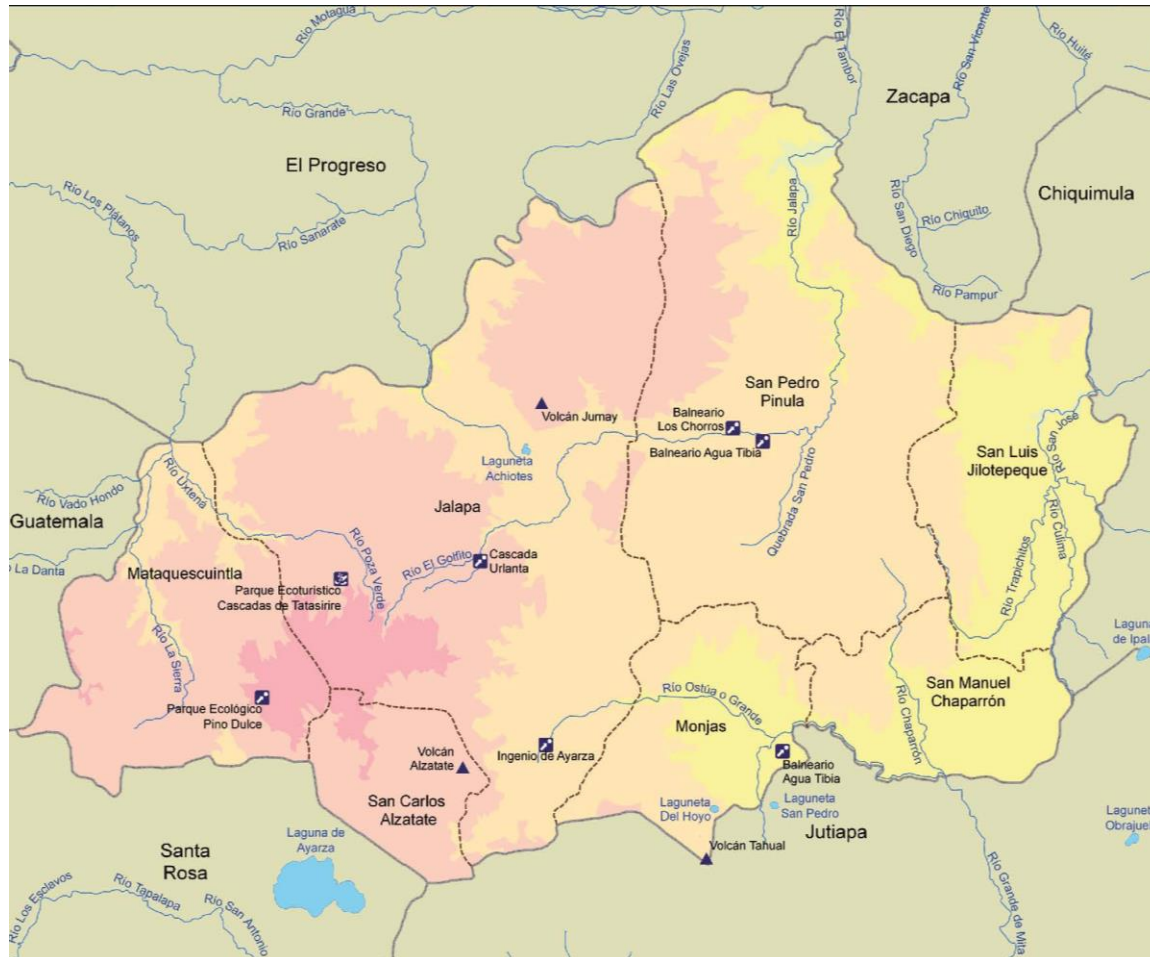
Anexo 5. Mapa de Jutiapa



Fuente: *Municipios de Jutiapa*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

Anexo 6. Mapa de Jalapa



Fuente: *Municipios de Jalapa*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

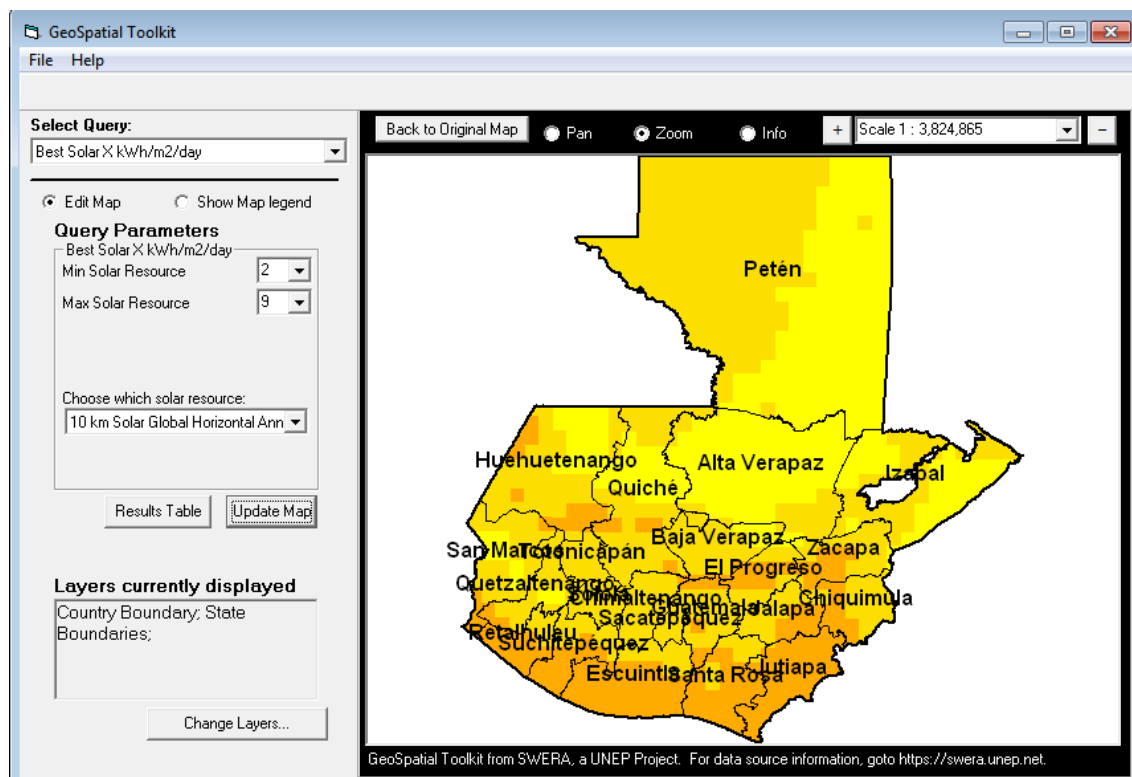
Anexo 7. Mapa de Chiquimula



Fuente: *Municipios de Chiquimula*. <http://www.leopl.com/estudios-sociales/>.

Consulta: 2 de junio de 2015.

Anexo 8. **Captura del programa con los datos de la radiación solar en forma visual**



Fuente: *Departamentos de Guatemala*. <https://swera.unep.net>. Consulta: 2 de junio de 2015.